



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMEROS SBS BETUTEC IC Y UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL 60/70”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autores:

Gerardo Luis Villafana Huamán
Raúl Mauricio Ramírez Villanueva

Asesor:

Ing. Manuel Nahon Vidal Velásquez

Lima - Perú

2019

APROBACIÓN DE LA TESIS

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por el Bachiller **Raúl Mauricio Ramírez Villanueva, Gerardo Luis Villafana Huamán**, denominada:

**“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA
CON POLIMEROS SBS BETUTEC IC Y UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL
60/70”**

Ing. Manuel Vidal Velásquez
ASESOR

Ing. Alejandro Vildoso Flores
**JURADO
PRESIDENTE**

Ing. Taylor Barrenechea
JURADO

Ing. Sonia Espinoza Farías
JURADO

DEDICATORIA

A Dios, por habernos dado la vida y permitirnos el haber llegado hasta este momento tan importante de nuestra formación profesional. A nuestros padres y familiares por su apoyo, consejos, comprensión, amor. Nos han dado todo lo que somos como personas, nuestros valores, principios, empeño y nuestra perseverancia para conseguir nuestros objetivos; A nuestros docentes por siempre, apoyándonos con sus enseñanzas, dándonos ánimos de fuerza y valor para seguir adelante.

AGRADECIMIENTO

A DIOS:

Por permitirnos llegar a este momento tan especial en nuestras vidas, fortaleciendo nuestra fe en que todo de la mano de Él se puede lograr

PADRES:

A nuestros padres por su confianza en nosotros, consejos y apoyo moral, que nos permitieron alcanzar esta meta. A ellos pues a veces a pesar de las limitaciones supieron formar buenos hijos con deseos de algún día ser grandes profesionales.

ING. MANUEL VIDAL:

Por su valiosa asesoría, colaboración y aporte brindado al presente trabajo.

EMPRESAS:

TDM Asfaltos S.A.C. y OHL Ingenieros S.A.C. por permitirnos realizar esta investigación en sus instalaciones.

TABLA DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE LA TESIS	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
TABLA DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE ECUACIONES	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	17
1.1. Realidad problemática	17
1.1.1. Antecedentes de la Tesis	18
1.1.1.1. Antecedentes a Nivel Nacional	18
1.1.1.2. Antecedentes a Nivel Internacional	19
1.2. Formulación del problema	21
1.2.1. Problema general	21
1.2.2. Problemas específicos	21
1.3. Justificación	21
1.3.1. Justificación Técnica	21
1.3.2. Justificación Social	21
1.3.3. Justificación Ambiental	22
1.4. Limitaciones	22
1.5. Bases teóricas	22
1.5.1. Pavimento Asfáltico	22
1.5.2. Polímeros	23
1.5.3. Asfalto	28
1.5.4. Materiales Bituminosos	28
1.5.5. Temperatura de Aplicación del Material Bituminoso	30
1.5.6. Composición Química del Asfalto	31
1.5.7. Pavimento de Concreto Asfáltico en Caliente	31
1.5.7.1. Agregados:	31
1.5.7.2. Agregados minerales gruesos:	32
1.5.7.3. Agregados minerales finos:	33
1.5.7.4. Gradación:	34
1.5.7.5. Filler o polvo mineral:	35
1.5.7.6. Mejoradores de adherencia:	36
1.5.7.7. Mezcla de agregados:	37

1.5.7.8. Diseño de mezcla asfáltica modificada con polímeros:	38
1.5.7.9. Diseño de mezcla asfáltica convencional:	39
1.5.8. Rueda Cargada de Hamburgo (HWTD)	39
1.6. Objetivos	40
1.6.1. Objetivo general	40
1.6.2. Objetivos específicos	40
1.7. Hipótesis	40
1.6.1. Hipótesis general	40
1.6.2. Hipótesis específicas	40
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	42
2.1. Metodología de la investigación	42
2.1.1. Diseño de investigación	42
2.1.2. Tipo de investigación	42
2.1.3. Nivel de Investigación	42
2.1.4. Definición de Variables	43
2.1.4.1. Variables Independientes	43
2.1.4.2. Variables Dependientes	44
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)	46
2.2.1. Población	46
2.2.2. Muestra	46
2.2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	46
2.2.3.1. Técnicas e instrumentos	46
2.2.3.2. Análisis de datos	48
2.3. Procedimiento	49
2.3.1. Objetivo 1:	49
2.3.2. Objetivo 2:	49
2.3.3. Objetivo 3:	49
2.4. Desarrollo	50
2.4.1. Objetivo 1:	50
2.4.1.1. Marco teórico	50
2.4.2. Objetivo 2:	50
2.4.2.2. Marco teórico	50
2.4.3. Objetivo 3:	51
2.4.3.1. Marco teórico	51
2.4.4. Desarrollo de la Investigación	52
2.4.4.1. Del Objetivo 1:	52
2.4.4.1.1. Contenido de Humedad (MTC E 108 / ASTM D-2216)	52
2.4.4.1.2. Análisis Granulométrico de los Agregados (MTC E 204 / ASTM D 136)	53
2.4.4.1.3. Límites de Consistencia (MTC E 110 / MTC E 111 / ASTM D-4318)	55

2.4.4.1.4. Desgaste por Abrasión (MTC E 207 / ASTM C-535 / ASTM C-131)	57
2.4.4.1.5. Porcentaje de Caras Fracturadas en los Agregados	58
2.4.4.1.6. Equivalente de Arena (MTC E 114 / ASTM D-2419)	60
2.4.4.1.7. Peso Específico y Absorción de agregados Gruesos	62
2.4.4.1.8. Peso Específico y Absorción de agregados Finos	64
2.4.4.1.9. Valor de Azul de Metileno en agregados Finos	66
2.4.4.1.10. Viscosidad Cinemática	67
2.4.4.1.11. Viscosidad Rotacional Brookfield (ASTM D-4402)	68
2.4.4.1.12. Resistencia de Mezclas Bituminosas Método Marshall	69
2.4.4.1.13. Porcentaje de Vacíos de Aire en Mezclas Asfálticas Compactadas	74
2.4.4.1.14. Peso Específico Teórico Máximo (Rice)	75
2.4.4.1.15. Peso Específico y Peso Unitario de Mezclas Asfálticas	77
2.4.4.2. Del Objetivo 2 y 3:	79
2.4.4.2.1. Hamburg Wheel – Track (AASHTO T 324)	79
CAPÍTULO III. RESULTADOS	87
3.1. Resultados del Objetivo específico 1:	89
3.1.1. Mezcla Asfáltica Modificada con Polímeros SBS Betutec IC	89
3.1.2. Mezcla Asfáltica Convencional 60/70	90
3.1.3. Cuadro comparativo de los Diseños	91
3.2. Resultados del Objetivo específico 2 y 3:	93
3.2.1. Mezcla Asfáltica Modificada con Polímeros SBS Betutec IC	93
3.2.2. Mezcla Asfáltica Convencional 60/70	96
3.2.3. Cuadro comparativo de los ensayos de Hamburgo	98
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	101
4.1. Discusión	101
4.1.1. Del Objetivo específico 1:	101
4.1.2. Del Objetivo específico 2:	101
4.1.3. Del Objetivo específico 3:	101
4.2. Conclusiones	102
4.2.1. Del Objetivo 1:	102
4.2.2. Del Objetivo 2:	102
4.2.3. Del Objetivo 3:	102
REFERENCIAS	104
ANEXOS	106
Anexo n° 1. Matriz de Consistencia	106
Anexo n° 2. Validación de Expertos	107
Anexo n° 3. Análisis Granulométrico Piedra Chancada <3/4”	109
Anexo n° 4. Análisis Granulométrico Arena Chancada <3/8”	110
Anexo n° 5. Análisis Granulométrico Arena Zarandeada <3/8”	111

Anexo n° 6. Chatas y Alargadas	112
Anexo n° 7. Caras Fracturadas	113
Anexo n° 8. Equivalente de Arena	114
Anexo n° 9. Límites de Consistencia (malla N°40)	115
Anexo n° 10. Límites de Consistencia (malla N°200)	116
Anexo n° 11. Angularidad de la Arena	117
Anexo n° 12. Durabilidad	118
Anexo n° 13. Índice de Durabilidad	119
Anexo n° 14. Desgaste por Abrasión	120
Anexo n° 15. Sales Solubles agregado grueso	121
Anexo n° 16. Sales Solubles agregado fino	122
Anexo n° 17. Adherencia agregado fino convencional 60/70	123
Anexo n° 18. Adherencia agregado grueso convencional 60/70	124
Anexo n° 19. Adherencia agregado fino modificado	125
Anexo n° 20. Adherencia agregado grueso modificado	126
Anexo n° 21. Gravedad Específica y Absorción	127
Anexo n° 22. Análisis Granulométrico mezcla de agregados	128
Anexo n° 23. Ensayo Marshall Convencional 60/70 (4.5%)	129
Anexo n° 24. Ensayo Marshall Convencional 60/70 (5.0%)	130
Anexo n° 25. Ensayo Marshall Convencional 60/70 (5.5%)	131
Anexo n° 26. Ensayo Marshall Convencional 60/70 (6.0%)	132
Anexo n° 27. Peso Específico Teórico Máximo	133
Anexo n° 28. Gráficos Método Marshall Diseño Convencional	134
Anexo n° 29. Resumen Método Marshall Diseño Convencional	135
Anexo n° 30. Comprobación del Óptimo Contenido de Asfalto Diseño Convencional	136
Anexo n° 31. Comprobación Peso Específico Teórico Máximo	137
Anexo n° 32. Estabilidad Retenida Diseño Convencional	138
Anexo n° 33. Índice de Compactabilidad Diseño Convencional	139
Anexo n° 34. Ensayo Marshall Modificado (4.5%)	140
Anexo n° 35. Ensayo Marshall Modificado (5.0%)	141
Anexo n° 36. Ensayo Marshall Modificado (5.5%)	142
Anexo n° 37. Ensayo Marshall Modificado (6.0%)	143
Anexo n° 38. Peso Específico Teórico Máximo	144
Anexo n° 39. Gráficos Método Marshall Diseño Modificado	145
Anexo n° 40. Resumen Método Marshall Diseño Modificado	146
Anexo n° 41. Comprobación del Óptimo Contenido de Asfalto Diseño Modificado	147
Anexo n° 42. Comprobación Peso Específico Teórico Máximo	148
Anexo n° 43. Estabilidad Retenida Diseño Modificado	149
Anexo n° 44. Índice de Compactabilidad Diseño Modificado	150

Anexo n° 45. Certificado PEN 60/70	151
Anexo n° 46. Certificado del Betutec IC	153
Anexo n° 47. Rueda de Hamburgo PEN 60/70	155
Anexo n° 48. Rueda de Hamburgo Betutec IC	156

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla n.º 1. Propiedades del SBS	27
Tabla n.º 2. Selección del tipo de cemento asfáltico	29
Tabla n.º 3. Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración	29
Tabla n.º 4. Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por viscosidad	30
Tabla n.º 5. Rangos de Temperatura de aplicación	30
Tabla n.º 6. Requerimientos para los agregados gruesos	32
Tabla n.º 7. Requerimientos para los agregados finos	33
Tabla n.º 8. Gradación para mezclas asfálticas en caliente	34
Tabla n.º 9. Husos granulométricos para mezclas asfálticas en caliente	35
Tabla n.º 10. Efectividad de los aditivos	36
Tabla n.º 11. Requisitos de adherencia	36
Tabla n.º 12. Requisitos para mezcla de concreto bituminoso	37
Tabla n.º 13. Vacíos en el agregado mineral (VMA)	37
Tabla n.º 14. Operacionalización de Variables	45
Tabla n.º 15. Carga abrasiva de acuerdo a gradación	58
Tabla n.º 16. Peso de la muestra de acuerdo a gradación	59
Tabla n.º 17. Peso de la muestra de acuerdo a gradación	63
Tabla n.º 18. Requerimientos para los Agregados Gruesos y Finos	87
Tabla n.º 19. Requerimiento para los agregados finos	88
Tabla n.º 20. Requisitos para mezclas asfálticas	88
Tabla n.º 21. Resumen Marshall Diseño Polímeros	90
Tabla n.º 22. Resumen Marshall Diseño Convencional	91
Tabla n.º 23. Resultados de los Diseños de Mezcla	91
Tabla n.º 24. Porcentaje de vacíos mezcla modificada	94
Tabla n.º 25. Porcentaje de vacíos mezcla convencional	96
Tabla n.º 26. Resultados de los ensayos de Rueda de Hamburgo	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura n.º 1. Pavimento Flexible	23
Figura n.º 2. Polímeros	24
Figura n.º 3. Bloque de polibutadieno	24
Figura n.º 4. Cadena de poliestireno	25
Figura n.º 5. Copolímero en bloque estireno-butadieno viviente	25
Figura n.º 6. Diclorodimetilsilano	26
Figura n.º 7. Copolímero de tribloque estireno-butadieno-estireno	26
Figura n.º 8. Medición de datos en ensayo Rueda de Hamburgo	47
Figura n.º 9. Deformación vs Número de pasadas	48
Figura n.º 10. Muestreo de agregado grueso	53
Figura n.º 11. Muestreo de agregado fino	54
Figura n.º 12. Cuarteo de agregados canteras Rumi – Crushing	54
Figura n.º 13. Tamizado de agregados	55
Figura n.º 14. Vaciado de la solución stock	60
Figura n.º 15. Equivalente de arena	61
Figura n.º 16. Tubo irrigador	62
Figura n.º 17. Peso SSS en agua	63
Figura n.º 18. Secado en estufa de agregados	64
Figura n.º 19. Agregado + agua en la Fiola	65
Figura n.º 20. Peso específico agregado fino	65
Figura n.º 21. Viscosímetro Brookfield	68
Figura n.º 22. Ensayo de viscosidad Brookfield	69
Figura n.º 23. Pesado de los agregados para diseño	70
Figura n.º 24. Mezcla de agregados ya pesados y calientes	71
Figura n.º 25. Colocación del ligante asfáltico a la mezcla de agregados	71
Figura n.º 26. Compactación Marshall 75 golpes por cara	72
Figura n.º 27. Briquetas	72

Figura n.º 28. Prensa Marshall	73
Figura n.º 29. Baño María a 60°C	73
Figura n.º 30. Ensayo de Estabilidad y Flujo	74
Figura n.º 31. Mezcla fría para ensayo RICE	75
Figura n.º 32. Extracción de aire atrapado a 30 mmHg	76
Figura n.º 33. Ensayo RICE	76
Figura n.º 34. Identificación de briquetas para peso específico	77
Figura n.º 35. Obtención del peso sumergido	78
Figura n.º 36. Molde con muestra en el compactador giratorio Superpave	80
Figura n.º 37. Briqueta compactada	81
Figura n.º 38. Contenido de vacíos	81
Figura n.º 39. Dimensiones de moldes de polietileno de alta densidad	82
Figura n.º 40. Montaje de briquetas asfalto convencional	82
Figura n.º 41. Montaje de briquetas asfalto modificado	83
Figura n.º 42. Gráfica esquemática deformación por susceptibilidad a la humedad	84
Figura n.º 43. Colocación de especímenes para ensayo a 50°C	85
Figura n.º 44. Ensayo de Hamburg Wheel – Track	85
Figura n.º 45. Finalización del ensayo de Hamburg Wheel – Track	85
Figura n.º 46. Prueba en curso	86
Figura n.º 47. Resultado final visual	86
Figura n.º 48. Estabilidad de las Mezclas Asfálticas	92
Figura n.º 49. Flujo de las Mezclas Asfálticas	92
Figura n.º 50. Óptimo Contenido de Asfalto de las Mezclas Asfálticas	93
Figura n.º 51. Diagrama de Comportamiento asfalto modificado	94
Figura n.º 52. Especímenes de ensayo asfalto modificado	95
Figura n.º 53. Especímenes de ensayo asfalto modificado	95
Figura n.º 54. Especímenes de ensayo asfalto modificado	95
Figura n.º 55. Diagrama de Comportamiento asfalto convencional	96
Figura n.º 56. Especímenes de ensayo asfalto convencional	97

Figura n.º 57. Especímenes de ensayo asfalto convencional	97
Figura n.º 58. Especímenes de ensayo asfalto convencional	98
Figura n.º 59. Profundidad de Ahuellamiento	99
Figura n.º 60. Deformación vs Número de Pasadas	99

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación n.º 1. Porcentaje de humedad	53
Ecuación n.º 2. Porcentaje retenido	55
Ecuación n.º 3. Porcentaje que pasa	55
Ecuación n.º 4. Índice de plasticidad	57
Ecuación n.º 5. Porcentaje de abrasión	58
Ecuación n.º 6. Porcentaje con una cara fracturada para cada tamaño	59
Ecuación n.º 7. Porcentaje de caras fracturadas	60
Ecuación n.º 8. Equivalente de arena	62
Ecuación n.º 9. Valor de azul de metileno	67
Ecuación n.º 10. Porcentaje de vacíos de aire	75
Ecuación n.º 11. Peso específico teórico máximo	77
Ecuación n.º 12. Peso específico aparente	78
Ecuación n.º 13. Peso unitario	78

RESUMEN

La presente investigación de Tesis “Análisis del Comportamiento de una Mezcla Asfáltica Modificada con Polímeros SBS Betutec IC y una Mezcla Asfáltica Convencional 60/70” es un trabajo en el cual se compara el comportamiento mecánico, desempeño de ambas mezclas y analizar como la incorporación de polímeros a un asfalto convencional mejoran las propiedades mecánicas del mismo, trayendo como consecuencia la extensión de la vida útil del pavimento.

Conocido es que en la mayoría de carreteras en el Perú se utilizan mezclas asfálticas convencionales con diferentes tipos de PEN dependiendo de la zona geográfica, sabemos que tenemos 03 regiones bien marcadas en nuestro territorio, para la presente investigación tomaremos como patrón una mezcla asfáltica convencional PEN 60/70, y se demostrará con ensayos de laboratorio la mejora que representa utilizar una mezcla modificada con polímeros SBS, en este caso Betutec IC. (Para nuestra investigación hemos considerado un porcentaje de polímeros del 3.5%, de acuerdo a la experiencia realizada en obra). Se puede utilizar diferentes porcentajes de polímeros, dependiendo del diseño estructural del pavimento dando énfasis en la flexibilidad y durabilidad que se desee.

Se procedió con el diseño de mezcla flexible tanto con liquido asfaltico con polímeros como con liquido asfaltico convencional (PEN 60/70), se realizaron bajo las mismas condiciones misma gradación y mismos agregados, solo modificando para cada diseño el líquido asfaltico hasta obtener el óptimo de cada diseño, para moldear las muestras que serán sometidas a los diferentes ensayos de desempeño que servirán para demostrar el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas en estudio.

Los problemas más comunes que se presentan en las mezclas asfálticas son la resistencia a la deformación permanente, también denominadas ahuellamientos o rutting, por lo que se realizaron ensayos en laboratorio que nos permitieron determinar al analizar nuestros diseños qué tan susceptibles son a estos problemas.

Palabras clave: Mezclas Asfálticas con Polímeros, Betutec IC, PEN 60/70

ABSTRACT

The present investigation of Thesis "Analysis of the Behavior of an Asphalt Mix Modified with SBS Betutec IC Polymers and a Conventional Asphalt Mixture 60/70" is a work in which the mechanical behavior, performance of both mixtures are compared and analyzed as the incorporation of Polymers to a conventional asphalt improve the mechanical properties of the same, bringing as consequence the extension of the useful life of the pavement.

Known is that in most roads in Peru are used conventional asphalt mixtures with different types of PEN depending on the geographical area, we know that we have 03 well marked regions in our territory, for the present investigation we will take as a standard conventional asphalt mixture PEN 60/70, and the improvement represented by using a modified mixture with SBS polymers, in this case Betutec IC, will be demonstrated with laboratory tests. (For our research we have considered a percentage of polymers of 3.5%, according to the work experience). Different percentages of polymers can be used, depending on the structural design of the pavement giving emphasis on the flexibility and durability that is desired.

We proceeded with the design of flexible mix with both asphalt liquid with polymers and with conventional asphalt liquid (PEN 60/70), under the same conditions same gradation and same aggregates were made, only modifying the asphalt liquid for each design until obtaining the optimum of each design, to mold the samples that will be submitted to the different performance tests that will serve to demonstrate the mechanical behavior of the asphalt mixtures under study.

The most common problems that occur in asphalt mixtures are the resistance to permanent deformation, also called rutting or rutting, so laboratory tests were performed that allowed us to determine when analyzing our designs how susceptible they are to these problems.

Keywords: Asphaltic mixtures with polymers, Betutec IC, PEN 60/70

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo está basado en una experiencia propia, en una obra donde se aplicaron diseños de mezclas asfálticas con polímeros, esta obra está localizada en la Provincia del Callao, Autopista de la Av. Néstor Gambetta, la cual se realizó en el año 2010 - 2013, en dicha obra se realizaron estos dos tipos de mezclas, es por esta razón la inquietud de dar a conocer el comportamiento de ambas mezclas.

Por tal motivo, a la fecha hemos solicitado el apoyo de 02 empresas para poder realizar nuestro experimento, dichas empresas son: La empresa TDM Asfalto S.A.C. la cual nos proporcionó los líquidos asfálticos, tanto el convencional como el convencional más polímero, pero el mayor aporte de esta empresa fue poder realizar el ensayo de desempeño llamado Rueda de Hamburgo. Y la empresa OHL Ingenieros S.A.C. los que nos proporcionaron sus instalaciones para realizar los diseños de mezcla asfáltica Convencional y mezcla asfáltica con Polímeros (Betutec IC) Polímero SBS (Estireno-Butadieno-Estireno). Existen diversas bibliografías relativas al tema donde se tiene la certeza del comportamiento de una capa de mezcla asfáltica.

Antes de comenzar a analizar la comparación de ambas mezclas, tenemos que realizar primero los ensayos a los agregados, de esta forma conoceremos la calidad de dichos productos, para ello se utilizara tres agregados: Piedra Chancada de 1/2", Arena Chancada de la Cantera Rumi y Arena Zarandeada de la Cantera Crushing, desde su gradación hasta saber su calidad como agregado mediante ensayos de laboratorio. Luego de estar seguros que los agregados son los idóneos para realizar la mezcla asfáltica, procedemos a realizar los diseños de ambas mezclas.

Luego de obtener los óptimos en porcentaje del líquido asfáltico para cada mezcla asfáltica, se utilizará el método Marshall para determinar el análisis donde se podrá apreciar las mejoras en estabilidad, fluencia. Al final del estudio se realizará una prueba final llamada Rueda de Hamburgo la cual nos ayudará a determinar la deformación permanente en ambas mezclas. Nuestro trabajo será dividido en los siguientes capítulos: Capítulo I: Introducción, Capítulo II: Metodología, Capítulo III: Resultados, Capítulo IV: Discusión y Conclusiones.

1.1. Realidad problemática

En el Perú es común ver pavimentos flexibles deteriorados ya sea por grietas, envejecimiento, ahuellamiento, etc., de esta forma nos damos cuenta que no está cumpliendo la vida útil para la que fue diseñado, esta razón nos motivó el realizar nuestra investigación experimental, queremos explicar nuestra hipótesis, mediante las pruebas de laboratorio que valerse de una mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS, podrá ser una buena oportunidad de solucionar problemas en la pavimento. Concretamente en Lima y Callao se puede visualizar que muchas calles y avenidas están deterioradas, las fallas que se presenta son

ahuellamiento, hundimiento, deformación plástica, estos temas mayormente son causas debido al transporte pesado que circula por las calles de Lima, entonces queremos demostrar que incrementando un modificador polimérico SBS Betutec IC podemos mejorar la performance de la carpeta asfáltica.

En pavimentos flexibles modificados si bien el costo es más elevado que un pavimento flexible convencional mejora las propiedades del mismo dándole más estabilidad y fluencia, se ve contrastado en un menor costo en el mantenimiento periódico al aplicar diseños asfálticos con polímeros y su vida útil es mayor.

La diferencia en un asfalto convencional y un asfalto modificado, está en la incorporación de productos como agentes modificadores, estos pueden ser: caucho molido, polímeros, etc. Los modificadores logran incorporarse al líquido asfáltico normal, ya que son sustancias muy estables a los cambios violentos de temperatura (gradiente térmico) y en el tiempo mantienen su estabilidad.

La modificación con polímeros favorece las propiedades físicas y reológicas (esfuerzo y deformación), esto ayuda a disminuir bastante la susceptibilidad a los cambios de temperatura, es impermeable a la humedad y favorece para aumentar el tiempo de oxidación. Algo importante de considerar es que aumenta su resistencia a la deformación y de esta forma disminuyen la cantidad de agrietamiento en la superficie de la carpeta asfáltica.

Pensamos que un diseño de mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS contribuye en la parte estructural con respecto a lo que usualmente se construye en carreteras, esto tiene como finalidad de mejorar la durabilidad del pavimento, es muy importante considerar que con solo cambiar un ligante modificado a una mezcla asfáltica normal se cambian sus propiedades. Esto se verá cuando analicemos las comparaciones de ambas mezclas.

Vamos a demostrar y describir la problemática de nuestra investigación. Integrar antecedentes de investigación, definiciones conceptuales y datos que permitan sustentar con claridad y precisión el problema de investigación.

1.1.1. Antecedentes de la Tesis

1.1.1.1. Antecedentes a Nivel Nacional

Cahuana y Limas, (2018), llevaron a cabo una investigación denominada *“Análisis Comparativo del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica Modificada con Betutec IC + Aditivo Warmix respecto a la Mezcla Asfáltica Convencional”*, en la Universidad San Martín de Porres, Lima – Perú. Este proceso investigador se realizó con el propósito de obtener una mejora en el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica modificada alcanzando buenos resultados, muy favorables de opiniones y recomendaciones para solicitar

la combinación de Betutec IC + aditivo mejorador de adherencia Warmix, todo esto con el fin de darle solución a los problemas que afectan al asfalto y por consiguiente al pavimento. De esta investigación se obtuvieron resultados satisfactorios en el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica modificada, pues presenta una mejora en sus propiedades en comparación a la mezcla convencional. Este antecedente contribuye a la investigación, pues nos demuestra que la incorporación de polímeros a un asfalto convencional, mejora considerablemente sus propiedades y por consecuencia el comportamiento de la mezcla alargando la vida útil del pavimento.

Estrada, (2017), llevo a cabo una investigación denominada *“Estudio y Análisis de Desempeño de Mezcla Asfáltica Convencional PEN 85/100 Plus y Mezcla Asfáltica Modificada con Polímeros Tipo SBS 70-28”* en la Universidad Andina del Cusco, Cusco – Perú. Este trabajo de investigación nos menciona que en la región del Cusco se acostumbra utilizar las mezclas asfálticas convencionales con asfalto PEN 85/100, por tal motivo se tomó como mezcla patrón para este trabajo la mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 Plus, esta es una mezcla convencional que lleva la denominación Plus debido a la incorporación de un aditivo mejorador de adherencia, la propuesta es mejorar el comportamiento de la mezcla y para esto se presenta un asfalto que con la modificación de un polímero en este caso SBS PG 70 -28, se sabe que estos son muy recomendados en climas fríos, que aplica perfectamente en esta investigación. Además se ejecutaron ensayos de desempeño buscando determinar el comportamiento de las mezclas asfálticas respecto a temas de deformación y fatiga ya que son los problemas más frecuentes que se presentan en las mezclas asfálticas. Este antecedente es la fuente principal de la presente tesis pues presenta una comparación profunda y completa de ambas mezclas tanto en comportamiento mecánico como desempeño.

1.1.1.2. Antecedentes a Nivel Internacional

Villegas; Aguiar y Loria, (2017), llevaron a cabo una investigación denominada *“Diseño de Mezcla Asfáltica con Materiales de Desecho”*, en la Universidad de Costa Rica, San Pedro Montes de Oca – Costa Rica. La intención de este trabajo es tratar los materiales de desecho en el uso de la mezcla asfáltica como modificadores del mismo, parte de esta investigación, es la evaluación de diferentes productos como posibles modificadores de asfalto. Mediante diferentes análisis físico-químico se evaluaron las propiedades de los modificantes y el desempeño de ligante modificado se evaluó por medio de ensayos de deformación permanente y fatiga. De los resultados a los ensayos a la mezcla asfáltica se llegó a la conclusión que el material de desecho mejora el comportamiento del asfalto y de la mezcla asfáltica. La utilización de estos residuos como modificantes no genero ningún efecto en ninguno de los parámetros analizados. Este antecedente aporta a la investigación ya que es una manera muy útil de disminuir los desechos no biodegradables producidos por las

industrias dándole un gran uso como modificador de asfaltos convencionales, teniendo resultados favorables mejorando sus propiedades y así poder ser aplicado en otros países ya que es un problema mundial.

Palma; Ortiz; Ávalos y Castañeda, (2015), llevaron a cabo una investigación denominada *“Modificación de Asfalto con Elastómeros para su Uso en Pavimentos”* en la Universidad Autónoma de Coahuila, Coahuila – México. Este trabajo de investigación consiste en la adición de polímeros en este caso elastómeros a un asfalto convencional con la intención de mejorar sus propiedades fisicoquímicas, el uso de estos polímeros en pavimentos trae como consecuencia mejorar el desempeño y alargar el tiempo de vida de los mismos. La modificación de estos asfaltos con polímeros fue patentado en la década del 40 pero años atrás en la década de los 30 ya eran utilizados en Europa como prueba en proyectos. Existen diferentes tipos de polímeros, pero debido a estudios realizados los más compatibles con el asfalto son los elastómeros, por ese motivo su uso para este trabajo de investigación en el cual se hace una comparación de la mejora de las propiedades de la mezcla asfáltica con el uso del mismo. Este antecedente reafirma investigaciones realizadas en años pasados, que la incorporación de polímeros, en este caso Elastómeros mejora considerablemente las propiedades de los asfaltos convencionales, por consecuencia el comportamiento de la mezcla alargando la vida útil del pavimento.

Moreno, (2011), llevó a cabo una investigación denominada *“Efecto de la Presencia de Humedad en el Comportamiento de Mezclas Asfálticas sometidas a Ensayos de Rueda de Carga (Norma NLT-173/84)”* en la Universidad de Chile, Santiago de Chile – Chile. Este proceso investigatorio nos dice que para la determinación de la susceptibilidad al ahuellamiento de las mezclas asfálticas, el Manual de Carreteras (M.C.) especifica el ensayo “Método para determinar la deformación en mezclas asfálticas utilizando la máquina de ahuellamiento”, en la norma el ensayo tiene sus consideraciones especiales en cuanto a la temperatura ambiente y presión de contacto de rueda-probeta. Esta norma no incluye la presencia de agua como parte del procedimiento, condición que sí es considerada en otras normas internacionales por su gran aporte en la pérdida de adherencia entre el agregado mineral-bitumen. En el presente trabajo se investigan otras opciones para poder adaptar la norma antes mencionada, agregando el factor agua superficial en el ensayo de la rueda y manteniendo las otras condiciones. Básicamente se utilizaron dos mezclas asfálticas con la incorporación de un mejorador de adherencia, utilizando distintos métodos de compactación para luego ser ensayadas en distintas condiciones, una en seco y otra con agua para establecer una comparación de resultados. Este antecedente contribuye a la investigación, pues es una comparación entre el ensayo de Rueda de Hamburgo uno agregando agua y otro realizado en seco, utilizando un aditivo mejorador de adherencia el cual contribuye en que las diferencias en resultados sea mínima.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera y en qué medida la mezcla asfáltica modificada con la aplicación de polímeros SBS Betutec IC presenta un mejor comportamiento mecánico frente al empleo de una mezcla asfáltica convencional 60/70?

1.2.2. Problemas específicos

¿Cómo será la estabilidad, el flujo y el óptimo contenido de asfalto porcentual, de una mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS Betutec IC y una mezcla asfáltica convencional 60/70?.

¿Cuál de las mezclas aplicadas presentará el mejor desempeño al ahuellamiento bajo las condiciones de humedad con respecto a la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS Betutec IC o la mezcla asfáltica convencional 60/70?

¿Cuál de las mezclas presentará mejor resistencia a la deformación permanente si la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS Betutec IC o una mezcla asfáltica convencional 60/70?

1.3. Justificación

Las justificaciones de esta investigación están basadas en los siguientes aspectos:

1.3.1. Justificación Técnica

Nuestra labor investigativa trata de decirnos cuál de los dos diseños en estudio nos ofrecerá mejor participación mecánica y desempeño, de esta forma queremos mejorar las condiciones de las carpetas asfálticas existentes. Con esta mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS pretendemos mejorar la vida útil de las vías asfaltadas, de esta forma daremos buena transitabilidad a los vehículos, esto será demostrado mediante los resultados que obtengamos tales como Estabilidad, Fluencia, Resistencia a la deformación y la Susceptibilidad a la humedad.

1.3.2. Justificación Social

Queremos demostrar que utilizando tecnologías nuevas como el polímero SBS, nos ayudaría en la parte económica, ya que, se reduciría la cantidad de mantenimientos periódicos que usualmente se realizan a nuestros pavimentos. Los costos de operación vehicular llámese gastos en llantas, repuestos, aceites, combustible, etc. y los tiempos de viaje se reducen cuando se tiene una carretera asfaltada con una carpeta asfáltica con adecuadas condiciones de resistencia al tránsito y al clima, tales condiciones nos brinda una carpeta asfáltica modificada con polímeros.

1.3.3. Justificación Ambiental

El presente trabajo de investigación también, estudia a la materia prima el asfalto, material que al calentarse emana gases contaminando el ambiente, motivo por el cual nace esta investigación, buscar un material que tenga una mayor vida útil para no vernos en la necesidad de mantenimientos a corto plazo contaminando constantemente el ambiente. La mayor durabilidad de los asfaltos adecuadamente diseñados considerando las condiciones de tráfico y clima, ocasiona que se extiendan los plazos de conservación periódica y la ejecución de proyectos de asfalto, con lo cual se tiene un rédito en el impacto ambiental.

1.4. Limitaciones

Nuestra labor de investigación nos limita a saber cuál de las dos mezclas en estudio tienen mejor comportamiento tanto mecánico como dinámico, mediante los valores que se obtendrán como la Estabilidad, flujo, resistencia a la deformación y susceptibilidad a la humedad vamos a determinar mediante el análisis de resultados el mejor comportamiento de ambas mezclas.

La limitación en relación a la población y muestra estuvo constituida por los diseños de mezcla, tanto modificado como convencional conformado por 15 briquetas por diseño para el Marshall y otras 2 briquetas por diseño para los ensayos de desempeño.

Determinar la deformación permanente de ambos diseños para obtener los datos de cual presenta el mejor desempeño, por consiguiente, menor ahuellamiento en función al número de repeticiones de carga.

Los ensayos de laboratorio que se realizaron al ligante asfáltico convencional 60/70 fueron realizados en Petroperú y al ligante asfáltico modificado Betutec IC fueron realizados en TDM Asfaltos S.A.C., ambos productos nos fueron proporcionados por la empresa TDM Asfaltos S.A.C. Los diseños de mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS Betutec IC y mezcla asfáltica convencional fueron realizados en la empresa OHL Ingenieros S.A.C. y los ensayos de desempeño (Rueda de Hamburgo) para ambos diseños fueron realizados en la empresa TDM Asfaltos S.A.C.

1.5. Bases teóricas

1.5.1. Pavimento Asfáltico

Un pavimento es una estructura de una o más capas comprendidas entre la subrasante y la superficie de rodadura, construida de materiales apropiados y cuya principal función es la de permitir el rodadura de vehículos por una vía o área de circulación, de una forma rápida, cómoda y segura para los usuarios. Debe ser resistente a la acción del tránsito, a los efectos del clima y transmitir hasta la subrasante los esfuerzos producidos por las cargas, con magnitudes inferiores a la capacidad de soporte del suelo de apoyo. El pavimento asfáltico está compuesto por un sistema tricapa, cuya capa superior es de concreto asfáltico,

compuesto de ligante, usualmente el asfalto, el cual es un derivado de la refinación del petróleo, y agregados pétreos; materiales granulares y suelo. Este tipo de pavimento se llama Flexible porque al ser sometido a una carga sufre una deformación y recuperación deseada, al cesar la carga, completamente elástica. (Patologías en Pavimentos Flexibles, 2014).

Además, un pavimento asfáltico muestra deformaciones plásticas o permanentes, que se denominan ahuellamientos, cuyas dimensiones varían según el nivel de tráfico que soporta, la temperatura del clima, composición de las capas del pavimento, entre otros.

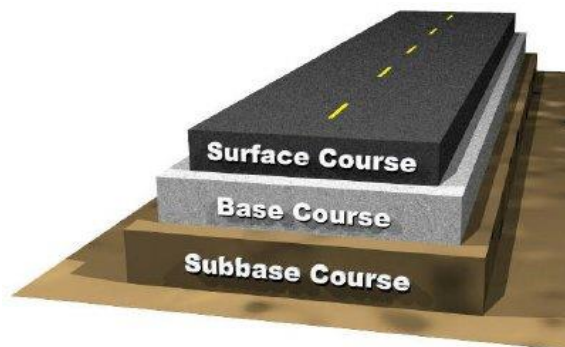


Figura n.º 1. Pavimento Flexible. Adaptado de “Análisis Comparativo de Pavimentos Flexibles Usando Elementos Finitos, 2014”. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/276432037_Comparative_Structural_Analysis_of_Flexible_Pavements_Using_Finite_Element_Method/figures?lo=1

1.5.2. Polímeros

Se denomina polímeros a las moléculas de mayor tamaño que los normales, entonces existe un enlace entre moléculas que se unen entre sí, a dicha unión se conoce como monómeros. Esta unión forma diversas formas de enlaces como por ejemplo tienen forma de ramas, otras son larguiruchos, etc., el tipo de unión que tiene el polímero SBS es en bloques. (Aplicaciones de los polímeros – Boletín Científico: UAEH, 2014).

En función de cómo se encuentren enlazadas o unidas (enlaces químicos o fuerzas intermoleculares) y la disposición de las diferentes cadenas que conforma el polímero, los materiales poliméricos resultantes se clasifican en:

- ✓ Termoplásticos
- ✓ Elastómeros
- ✓ Termoestables

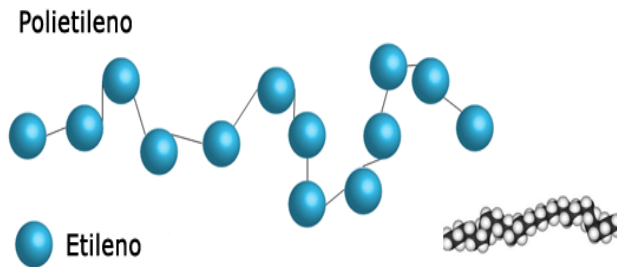


Figura n.º 2. Polímeros. Adaptado de “Polímero, definición y Clasificación de los Polímeros”. Recuperado de <https://www.losadhesivos.com>

Polímeros SBS

El estireno-butadieno-estireno, frecuentemente abreviado SBS (del inglés Styrene-Butadiene-Styrene), es un elastómero termoplástico sintético obtenido mediante la polimerización de una mezcla de estireno y de butadieno. Es un caucho duro, que se usa para hacer objetos tales como suelas de zapatos, cubiertas de neumáticos, y otros donde la durabilidad sea un factor importante. Es un tipo de copolímero llamado copolímero en bloque. (SBS Tecnología de los plásticos, 2011).

Estructura química y síntesis

Como se dijo anteriormente el SBS es un copolímero en bloque. Su cadena principal está constituida por tres segmentos. El primero es una larga cadena de poliestireno, el del medio es una cadena de polibutadieno, y el último es otra larga sección de poliestireno. (SBS Tecnología de los plásticos, 2011).



Figura n.º 3. Bloque de polibutadieno. Adaptado de “SBS Tecnología de los Plásticos”, 2011. Recuperado de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/12/sbs.html>

El poliestireno es un plástico duro y resistente y le da al SBS su durabilidad. El polibutadieno es un material parecido al caucho y le confiere al SBS sus características similares al caucho. Además, las cadenas de poliestireno tienden a agruparse formando grandes masas. Cuando un grupo estireno de una molécula de SBS se une a una de estas masas y la otra cadena de poliestireno de la misma molécula de SBS se une a la otra masa, las diversas masas se ensamblan entre sí con las cadenas similares al caucho del polibutadieno. Esto le confiere al material, la capacidad de conservar su forma después de ser estirado. El SBS se obtiene por medio de una polimerización aniónica viviente. Una

polimerización viviente es una que tiene lugar sin reacciones de terminación, es decir, que una vez que el monómero en el reactor ha sido agotado y se ha transformado en polímero, las cadenas poliméricas aún se encuentran activas. Si se colocaran más monómero dentro del reactor, se adicionaría al polímero, haciéndolo más grande. Para obtener una cadena de poliestireno viviente se polimeriza el momento estireno con un iniciador aniónico como el butil litio. (SBS Tecnología de los plásticos, 2011).

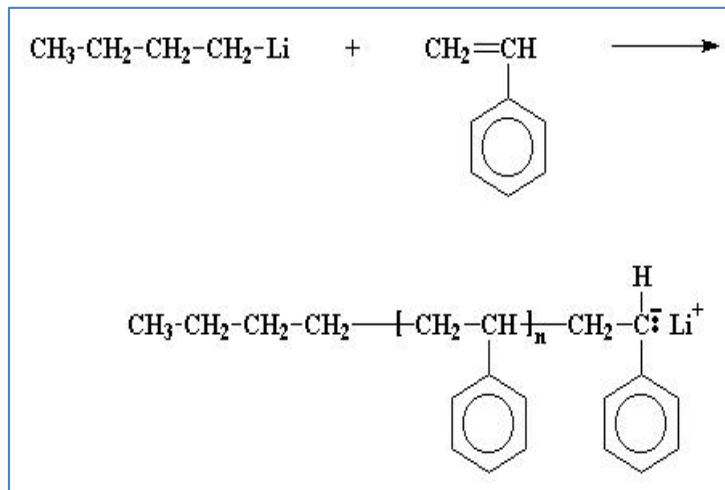


Figura n.º 4. Cadena de poliestireno. Adaptado de “SBS Tecnología de los Plásticos”, 2011. Recuperado de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/12/sbs.html>

Al agregar el segundo monómero (butadieno), este se adicionará al polímero.

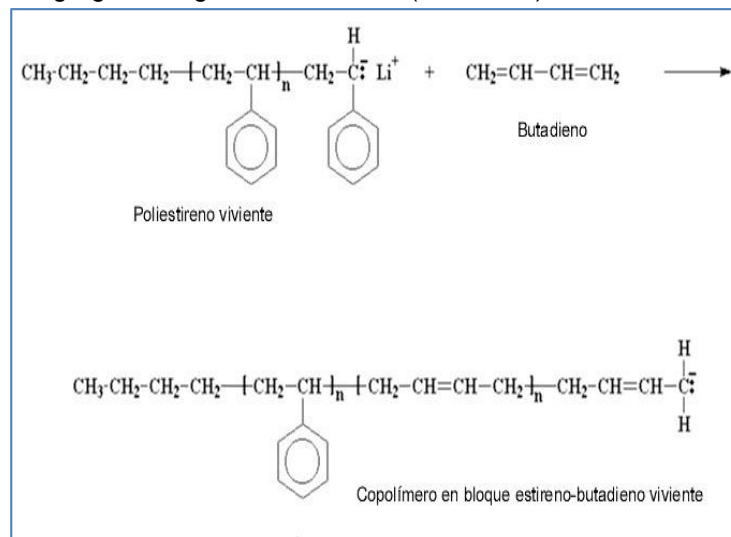


Figura n.º 5. Copolímero en bloque estireno-butadieno viviente. Adaptado de “SBS Tecnología de los Plásticos”, 2011. Recuperado de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/12/sbs.html>

Esto da un copolímero en bloque estireno-butadieno viviente. Luego se lo hace reaccionar con un compuesto llamado diclorodimetilsilano.

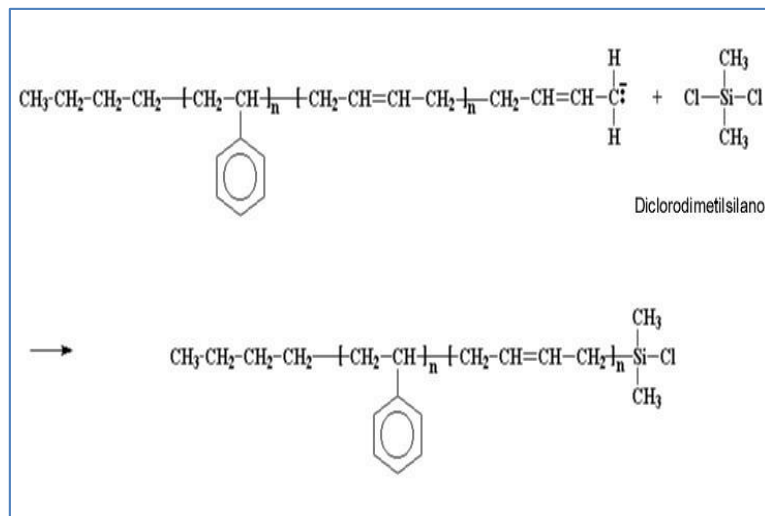


Figura n.º 6. Diclorodimetilsilano. Adaptado de “SBS Tecnología de los Plásticos”, 2011. Recuperado de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/12/sbs.html>

La cadena aniónica viviente expulsa un átomo de cloro del silano y obtenemos un polímero que termina en un clorosilano para que el polímero ya no sea más viviente. Con esto se consigue que el homopolímero poliestireno viviente reaccione con el polímero terminado en clorosilano, de igual forma en que lo hizo el copolímero estireno-butadieno con el diclorodimetilsilano. Esto da el copolímero en tribloque. (SBS Tecnología de los plásticos, 2011).

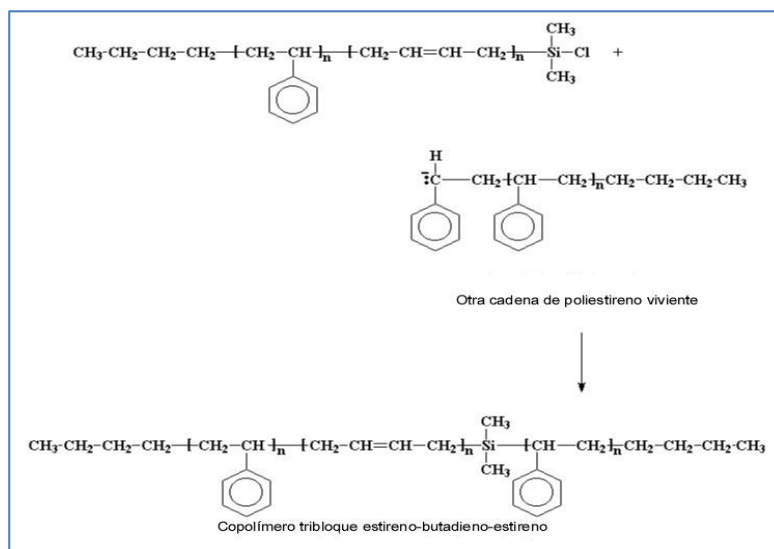


Figura n.º 7. Copolímero de tribloque estireno-butadieno-estireno. Adaptado de “SBS Tecnología de los Plásticos”, 2011. Recuperado de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/12/sbs.html>

Propiedades

El SBS pertenece a la clase de elastómeros termoplásticos que poseen las propiedades mecánicas del caucho a temperatura ambiente y las capacidades de procesamiento de termoplásticos. La mayor parte de los cauchos son difíciles de procesar, porque están entrecruzados. El SBS y otros elastómeros termoplásticos son similares al caucho sin ser entrecruzados, por lo que resulta sencillo procesarlos para lograr formas útiles. Punto de fusión 160 – 200°C (320 – 400°F). (SBS Tecnología de los plásticos, 2011).

El SBS ofrece un excelente coeficiente de fricción superficial, poca deformación permanente, una gran resistencia a la tracción, excelente comportamiento a bajas temperaturas, procesabilidad y buenas propiedades eléctricas. (SBS Tecnología de los plásticos, 2011).

Tabla n.º 1.

Propiedades del SBS

Propiedades del Polímeros	Método de Prueba	Unidad	Valores típicos
Estireno	Método Dexco	% en peso	29
Contenido Dibloque	Método Dexco	% en peso	< 1
Índice de Fluidez	ASTM D 1238	Dg/min	12
Viscosidad en solución	ASTM D 2196	Cps	400
Volátiles	Método Dexco	% en peso	0.4
Ceniza	ASTM D 1416	% en peso	0.8
Propiedades físicas			
Resistencia a la tracción	ASTM D 412	PSI (MPa)	4800 (33.1)
Modulo	ASTM D 412	PSI (MPa)	530 (3.7)
Alargamiento a la rotura	ASTM D 412	%	1100
Dureza	ASTM D 2240	Shore A	65
Peso específico	ASTM D 792		0.94

Nota: Tomado de “SBS Tecnología de los plásticos”, 2011. Recuperado de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/12/sbs.html>

Usos

El SBS es muy adecuado para ser utilizado como material de sellado y un adhesivo en el proceso de fusión en caliente. También se utiliza ampliamente en aplicaciones como la fabricación de calzados, modificación de asfalto y lamina asfáltica, modificación de polímeros, materiales líquidos de sellado, capas o recubrimientos impermeables, cables eléctricos, componentes de automóviles, aparatos médicos, artículos de oficina y adhesivos. (SBS Tecnología de los plásticos, 2011).

1.5.3. Asfalto

El asfalto es un material derivado del petróleo, conformado por los hidrocarburos más pesados, de color negro, con características cementantes, que varía de consistencia entre sólido y semisólido a temperaturas ambientales normales. El líquido asfáltico trabaja con temperaturas altas lo cual le da la facilidad de pasar de un estado blando a un estado líquido con la finalidad de adherirse mejor a los agregados. El asfalto se adhiere fácilmente a las partículas de agregado y además es un excelente material impermeabilizante y no es afectado por los ácidos, los álcalis o bases, o las sales. El asfalto cambia cuando es calentado y/o envejecido. Tiende a volverse duro y frágil y también tiende a perder parte de su capacidad de adherirse a las partículas de agregado. (Propiedades y Estudios de los Materiales asfálticos y Pétreos).

Los asfaltos de pavimentación pueden clasificarse en tres tipos generales:

- ✓ Cementos asfálticos
- ✓ Asfalto diluido (o cortado)
- ✓ Asfalto emulsificado

Los cementos asfálticos se clasifican bajo los siguientes tres sistemas diferentes: Viscosidad, viscosidad después de envejecimiento y penetración. Cada sistema abarca diferentes grados, cada uno con diferente rango de consistencia. (Salamanca, 2007, p. 5).

1.5.4. Materiales Bituminosos

Se denominan Materiales Bituminosos a todos aquellos productos que en su composición contienen un componente orgánico llamado Betún, cuya característica preponderante es la impermeabilidad. Los Materiales Bituminosos son sustancias de color negro sólidas o viscosas, dúctiles, que se ablandan por el calor y comprenden a aquellos cuyo origen son los crudos petrolíferos como también a los obtenidos por la destilación destructiva de sustancias de origen carbonoso, reservando la palabra asfáltica para aquellas sustancias de origen petrolífero, naturales o artificiales, y alquitranes a las procedentes de sustancias carbonosas. Para la elaboración de una mezcla asfáltica en caliente se utiliza el cemento asfáltico. (Categoría: Materiales Bituminosos).

Cemento Asfáltico: El Manual de carreteras (2013) establece que las mezclas asfálticas y el tipo de cemento asfáltico que va ser utilizado en imprimación y riegos de liga serán organizados por su viscosidad y grado de penetración. Su empleo será según las características climáticas de la región, la correspondiente carta viscosidad del cemento asfáltico y tal como lo indica la Tabla 2., según lo establecido en Proyecto y aprobado por el Supervisor. (Manual de carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013).

Tabla n.º 2.

Selección del tipo de cemento asfáltico

Temperatura Media Anual			
24°C o mas	24°C – 15°C	15°C – 5°C	Menos de 5°C
40-50 ó		85-100	
60-70 ó	60-70	120-150	Asfalto Modificado
modificado			

Nota: Tomado del Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013). Recuperado de http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4955.pdf

Según el MTC (2013) los requisitos de calidad del cemento asfáltico son los que establecen las Tablas 3. y 4. El cemento asfáltico debe presentar un aspecto homogéneo, libre de agua y no formar espuma cuando es calentado a la temperatura de 175°C.

El MTC (2013) define que el cemento asfáltico podrá modificarse mediante la inclusión de aditivos de diferente naturaleza tales como: rejuvenecedores, polímeros, o cualquier otro producto garantizado, con los ensayos correspondientes. En tales casos, las especificaciones particulares establecerán el tipo de aditivo y las especificaciones que deberán cumplir tanto el cemento asfáltico modificado como las mezclas asfálticas resultantes, que serán aprobadas por el Supervisor, al igual que la dosificación y dispersión homogénea del aditivo incorporado. (Manual de carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013).

Tabla n.º 3.

Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración

Tipo	Grado	Ensayo	Grado Penetración										
			PEN 40-50		PEN 60-70		PEN 85-100		PEN 120-150		PEN 200-300		
			Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	
Pruebas sobre el Material Bituminoso													
		Penetración a 25°C, 100g, 5s, 0.1 mm	MTC E 304	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
		Punto de inflamación, °C	MTC E 312	232		232		232		218		177	
		Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm	MTC E 306	100		100		100		100		100	
		Solubilidad en Tricloro-etileno, %	MTC E 302	99		99		99		99		99	
		Índice de Penetración (Susceptibilidad Térmica) ⁽¹⁾	MTC E 304	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1
		Ensayo de la Mancha (Oliensies) ⁽²⁾											
		Solvente Nafta - Estándar		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
		Solvente Nafta – Xileno, %Xileno	AASHTO M 20	Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
		Solvente Heptano – Xileno, %Xileno		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Pruebas sobre la Película Delgada a 163°C, 3.2 mm, 5h													
		Pérdida de masa, %	ASTM D 1754	0.8		0.8		1.0		1.3		1.5	
		Penetración retenida después del ensayo de película fina, %	MTC E 304	55+		52+		47+		42+		37+	
		Ductilidad del residuo a 25°C, 5 cm/min, cm ⁽³⁾	MTC E 306			50		75		100		100	

(1), (2) Ensayos opcionales para su evaluación complementaria del comportamiento geológico en el material bituminoso indicado.

(3) Si la ductilidad es menor de 100 cm, el material se aceptara si la ductilidad a 15.5 °C es mínimo 100 cm a la velocidad de 5 cm/min.

Nota: Tomado del Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013). Recuperado de http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4955.pdf

Tabla n.º 4.

Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por viscosidad

Características	Grado de Viscosidad				
	AC-2.5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-40
Viscosidad Absoluta a 60 °C, Poises	250±50	500±100	1.000±200	2.000±400	4.000±800
Viscosidad Cinemática, 135 °C St mínimo	80	110	150	210	300
Penetración 25 °C, 100gr, 5 s mínimo	200	120	70	40	20
Punto de Inflamación COC, °C mínimo	163	177	219	232	232
Solubilidad en Tricloroetileno, % masa, mínimo	99	99	99	99	99
Pruebas sobre el residuo del ensayo de película fina					
➤ Viscosidad Absoluta a 60 °C, Poises	1.25	2.5	5	10	20
➤ Ductilidad, 25 °C, 5cm/min, cm, mínimo	100	100	50	20	10
Ensayo de la Mancha (Oliensies) ⁽¹⁾					
Solvente Nafta - Estándar	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente Nafta – Xileno, %Xileno	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente Heptano – Xileno, %Xileno	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo

(1) Porcentaje de solvente a usar, se determinara si el resultado del ensayo indica positivo.
Fuente: ASTM D 3381, NTP

Nota: Tomado del Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013). Recuperado de http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4955.pdf

1.5.5. Temperatura de Aplicación del Material Bituminoso

El MTC (2013) define que el material bituminoso a utilizar en los diferentes trabajos según la especificación respectiva será obligatoriamente aplicada dentro de los rangos de la carta viscosidad-temperatura (ASTM D341) establecidos en el proyecto y aprobado por el Supervisor. Se observará los rangos de temperatura de aplicación establecidos en la Tabla 5. (Manual de carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013).

Tabla n.º 5.

Rangos de Temperatura de aplicación

Tipo y Grado del Asfalto	Temperaturas de Esparcido ⁽²⁾		Temperaturas de Mezclado en Planta ⁽¹⁾	
	Mezcla in situ	Tratamientos superficiales	Mezclas Densas	Mezclas Abiertas
Asfaltos Diluidos				
MC-30	--	30	--	--
RC-70 o MC-70	20	50	--	--
RC-250 o MC-250	40	75	55-80	--
RC-800 o MC-800	55	95	75-100	--
Emulsiones Asfálticas				
CRS-1	--	50-85	--	--
CRS-2	--	50-85	--	--
CMS-2	20-70	--	10-70	--
CMS-2h, CSS-1, CSS-1h	20-70	--	10-70	--
Cemento Asfáltico				
Todos los grados	140 máx. (4)		140 máx. (3)	

(1) Temperatura de mezcla inmediatamente después de preparada.

(2) La Máxima temperatura deberá estar debajo de aquella en la que ocurre vapores o espuma.

(3) En algunos casos la temperatura de aplicación puede estar por encima del punto de inflamación. Por lo tanto se debe tener precaución para prevenir fuego o explosiones.

(4) Se podrá variar esta temperatura de acuerdo a la carta de viscosidad-temperatura

Fuente: MS-16-Asphalt Institute

Nota: Tomado del Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013). Recuperado de http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4955.pdf

1.5.6. Composición Química del Asfalto

El líquido asfáltico es estudiado por la Química Orgánica, cuando es analizado podemos encontrar que está compuesto por naftenos, cetonas, ácidos, etc. El líquido asfáltico tiene una constitución química muy complicada, está compuesto de cadenas de moléculas que son conocidas, tales como carbonos, níquel, nitrógeno, calcio, etc. La calidad del líquido asfalto depende del lugar de origen del petróleo crudo extraído, los exámenes que se requieren son delicados, de este análisis o estudio se determinan dos grupos bien marcados, conocidos como Asfaltenos y Maltenos. (Física Química del Asfalto – Sol Petróleo).

1.5.7. Pavimento de Concreto Asfáltico en Caliente

Este trabajo consistirá en la fabricación de mezclas asfálticas en caliente y su colocación en una o más capas sobre una superficie debidamente preparada e imprimada, de acuerdo con estas especificaciones. (Manual de carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013).

1.5.7.1. Agregados:

Los agregados son materiales que provienen de canteras ya sea de cerro o de río, este material está constituido por grava y arena mezclados son conocidos como granulares, normalmente son utilizados en la construcción de carreteras. A estos materiales se le puede complementar con aditivos estabilizadores para un mejor comportamiento. Mediante las máquinas clasificadoras se pueden obtener agregados procesados para ser usados como complemento en concreto flexible o concreto hidráulico. (Smith M. R. and L. Collins, 1994). (Materiales básicos – UPCommons).

Los agregados dependiendo de la técnica que utilicen para procesarlos, pueden clasificarse de la siguiente manera:

- a) Agregados Naturales. Este tipo de agregado pasa por un proceso de tamizado en su gradación, para luego, según sea requerido se podrá considerar tamaño y forma de acuerdo a los parámetros que se establezcan.
- b) Agregados de Trituración. Son agregados que pasan por un proceso de clasificación, mediante una máquina es triturada la roca procedente de Cantera, obteniendo diferentes gradaciones según para lo que serán utilizadas (arena chancada, piedra chancada), son clasificados según la necesidad de la obra. Antes de pasar para ser triturados pasan por un control de calidad para ver sus cualidades físicas.
- c) Agregados Artificiales. Existen diferentes procesos para obtener este material, estos productos vienen de demoliciones otros son materiales reciclables, el concepto final es poder reutilizarlo según cumplan con exigencias técnicas.

d) Agregados Marginales. Son productos que están fuera de cualquier exigencia técnica, mayormente son desechados.

1.5.7.2. Agregados minerales gruesos:

El MTC (2013) define que los agregados pétreos empleados para la ejecución de cualquier tratamiento o mezcla bituminosa deberán poseer una naturaleza tal, que al aplicársele una capa del material asfáltico, ésta no se desprenda por la acción del agua y del tránsito, solo serán aceptados agregados de buena calidad y que tengan una buena adherencia con el líquido asfáltico. Se permitirá sólo la utilización de agregados que absorban fácilmente la humedad, con la condición del uso de aditivos mejoradores de adherencia solo si es verificada su eficacia. De acuerdo a las exigencias de las especificaciones técnicas los agregados considerados gruesos son todos los retenidos a partir de la malla N°4 y la condición que debe cumplir el agregado es que las gravas deben estar trituradas al 100%, tienen que ser limpias sin rastros de arcilla, la grava debe ser cubica tratando de tener un porcentaje bajo de chatas y alargadas, debe tener una dureza y ser resistente. Es importante la limpieza para el tema de adherencia.

Los agregados gruesos, deben cumplir además con los requerimientos, establecidos en la Tabla 6. (Manual de carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013).

Tabla n.º 6.

Requerimientos para los agregados gruesos

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤3.000	>3.000
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	35% máx.
Adherencia	MTC E 517	+95	+95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín.	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Absorción *	MTC E 206	1.0% máx.	1.0% máx.

* Excepcionalmente se aceptaran porcentajes mayores solo si se aseguran las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica.

- La adherencia del agregado grueso para zonas mayores a 3000 msnm será evaluada mediante la performance de la mezcla según lo señalado en la Subsección 1.5.7.6.
- La notación "85/50" indica que el 85% del agregado grueso tiene una cara fracturada y que el 50% tiene dos caras fracturadas.

Nota: Tomado del Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013). Recuperado de

http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4955.pdf

1.5.7.3. Agregados minerales finos:

El Manual de carreteras (2013) establece que se designará agregado fino a la parte del agregado integral que abarca desde el tamiz N° 4 hasta el tamiz N° 200 además del polvo mineral o llenantes pasante del tamiz N° 200.

Este material estará compuesto por arena de moledura o por una combinación de ella con arena de procedencia natural. La proporción admisible de esta última será establecida en el diseño aprobado correspondiente.

Los granos del agregado fino tendrán que estar limpios, ser sólidos y deberán tener una superficie áspera, y una forma angular o redondeada según lo requerido. Para que pueda tener una buena unión con el asfalto, es importante que no tenga materiales deletéreos o arcillas que dificulten la adherencia entre el líquido asfáltico y el agregado fino.

Los agregados finos, deben cumplir además con los requerimientos, establecidos en la Tabla 7. (Manual de carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013).

Tabla n.º 7.

Requerimientos para los agregados finos

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤3.000	>3.000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40
Azul de metileno	AASTHO TP 57	8 máx.	8 máx.
Índice de Plasticidad (malla N° 40)	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-	18% máx.
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35 mín.	35 mín.
Índice de Plasticidad(malla N° 200)	MTC E 111	4 máx.	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Absorción**	MTC E 205	0.5% máx.	0.5% máx.

* Excepcionalmente se aceptaran porcentajes mayores solo si se aseguran las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica.

- La adherencia del agregado fino para zonas mayores a 3000 msnm será evaluada mediante la performance de la mezcla según lo señalado en la Subsección 1.5.7.6.

Nota: Tomado del Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013). Recuperado de http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4955.pdf

1.5.7.4. Gradación:

El MTC (2013) define que la gradación de los agregados pétreos para la producción de la mezcla asfáltica en caliente deberán ajustarse a alguna de las siguientes gradaciones y serán propuestas por el Contratista y aprobadas por el Supervisor.

Además de los requisitos de calidad que debe tener el agregado grueso y fino según lo establecido en la subsección 1.5.7.2. y 1.5.7.3., el material de la mezcla de los agregados debe estar libre de terrones de arcilla y se aceptará como máximo el 1% de partículas deleznableles según ensayo MTC E 212. Tampoco deberá contener materia orgánica y otros materiales deletéreos. (Manual de carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013).

Gradación para mezcla asfáltica en caliente (MAC)

La gradación de la mezcla asfáltica en caliente (MAC) deberá responder a algunos de los husos granulométricos, especificados en la Tabla 8.

Tabla n.º 8.

Gradación para mezclas asfálticas en caliente

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	MAC-1	MAC-2	MAC-3
25.0 mm (1")	100		
19.0 mm (3/4")	80-100	100	
12.5 mm (1/2")	67-85	80-100	
9.5 mm (3/8")	60-77	70-88	100
4.75 mm (Nº 4)	43-54	51-68	65-87
2.00 mm (Nº 10)	29-45	38-52	43-61
425 µm (Nº 40)	14-25	17-28	16-29
180 µm (Nº 80)	8-17	8-17	9-19
75 µm (Nº 200)	4-8	4-8	5-10

Nota: Tomado del Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013). Recuperado de

http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4955.pdf

Alternativamente pueden emplearse las gradaciones especificadas en la ASTM D 3515 e Instituto del Asfalto, que se muestra a continuación:

Tabla n.º 9.

Husos granulométricos para mezclas asfálticas en caliente según ASTM D 3515

Tamiz	Mezcla Densa								
	Tamaño máximo nominal de agregados								
	2"	1 ½"	1"	¾"	½"	3/8"	Nº4	Nº8	Nº16
Gradación de agregados (grava; fino y Filler si se requiere)									
Porcentaje en peso									
2 ½" (63mm)	100	-	-	-	-	-	-	-	-
2" (50mm)	90-100	100	-	-	-	-	-	-	-
1 ½" (37.5mm)	-	90-100	100	-	-	-	-	-	-
1" (25.0mm)	60-80	-	90-100	100	-	-	-	-	-
¾" (19.0mm)	-	56-80	-	90-100	100	-	-	-	-
½" (12.5mm)	35-65	-	56-80	-	90-100	100	-	-	-
3/8" (9.5mm)	-	-	-	56-80	-	90-100	100	-	-
Nº4 (4.75mm)	17-47	23-53	29-59	35-65	44-74	55-85	80-100	-	100
Nº8 (2.36mm)	10-36	15-41	19-45	23-49	28-58	32-67	65-100	-	95-100
Nº16 (1.18mm)	-	-	-	-	-	-	40-80	-	85-100
Nº30 (600µm)	-	-	-	-	-	-	25-65	-	70-95
Nº50 (300µm)	3-15	4-16	5-17	5-19	5-21	7-23	7-40	-	45-75
Nº100 (150µm)	-	-	-	-	-	-	3-20	-	20-40
Nº200 (75µm)	0-5	0-6	1-7	2-8	2-10	2-10	2-10	-	9-20

Nota. Tomado del Manual ASTM – 2014. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/381212559/ASTM-D-3515>

1.5.7.5. Filler o polvo mineral:

El MTC (2013) define que el Filler o relleno de origen mineral, que sea necesario emplear como relleno de vacíos, espesante del asfalto o como mejorador de adherencia al par agregado-asfalto, podrá ser de preferencia cal hidratada, que deberá cumplir la norma AASHTO M-303.

Podrá usarse una fracción del material proveniente de la clasificación, siempre que se verifique que no tenga actividad y que sea no plástico. Su peso unitario aparente, determinado por la norma de ensayo MTC E 205, deberá encontrarse entre 0,5 y 0,8 g/cm³ y su coeficiente de emulsibilidad (NLT 180) deberá ser inferior a 0,6.

La cantidad a utilizar se definirá en la fase de diseños de mezcla según el Método Marshall. (Manual de carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013).

1.5.7.6. Mejoradores de adherencia:

El MTC (2013) define que son productos utilizados en las mezclas asfálticas, que tienen por finalidad mejorar la adherencia entre el asfalto y los agregados pétreos. Para el mejoramiento de la adherencia entre los productos bituminosos y los agregados pétreos se podrán emplear:

- Cal tipo I y II (AASHTO M303).
- Base tipo amina.
- Cenizas (AASHTO M295).
- Otros productos de calidad certificada.

El mejorador de adherencia seleccionado, previamente en el Proyecto o aprobado por el Supervisor, deberá garantizar el grado de afinidad requerido entre el par asfalto-agregado, según el tipo de pavimento bituminoso a utilizar. En el caso de mejoradores de adherencia líquidos, deben ser homogéneos y no presentar separación de fases. La efectividad, compatibilidad y alto rendimiento del aditivo entre el par asfalto – agregado en cada uno de los diseños de mezcla, será evaluada según AASHTO T283 señalado en la Tabla 10. (Manual de carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013).

Tabla n.º 10.

Efectividad de los aditivos

Ensayos	Norma	Requerimiento
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta (**)	AASHTO T 283*	80 mín.

* El Ensayo AASHTO T-283 deberá ser efectuado teniendo en cuenta la aplicación de los ciclos completos de congelamiento y calentamiento.

** Opcionalmente se puede efectuar el método ASTM D 4867 (Lootman Modificado) y deberá ser efectuada teniendo en cuenta la aplicación de los ciclos completos de congelamiento y calentamiento.

Nota: Tomado del Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013). Recuperado de http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4955.pdf

Tabla n.º 11.

Requisitos de adherencia

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		≤3.000	>3.000*
Adherencia (Agregado grueso)	MTC E 517	95	-
Adherencia (Agregado fino)	MTC E 220	4 mín.**	-
Adherencia (mezcla)	MTC E 521	-	95
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta	AASHTO T 283	-	80 mín

* Mayor a 3000 msnm y zonas húmedas o lluviosas

** Grado inicial de desprendimiento

Nota: Tomado del Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013). Recuperado de http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4955.pdf

1.5.7.7. Mezcla de agregados:

El MTC (2013) define que las características de calidad de la mezcla asfáltica, deberán estar de acuerdo con las exigencias para mezclas de concreto bituminoso que se indican en las Tablas 12. y 13., según corresponda al tipo de mezcla que se produzca, de acuerdo al diseño del proyecto. (Manual de carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013).

Tabla n.º 12.

Requisitos para mezcla de concreto bituminoso

Parámetros de diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
Compactación, numero de golpes por lado	75	50	35
Estabilidad (mínimo)	8.15 kN	5.44 kN	4.53 kN
Flujo 0.01" (0.25 mm)	8 - 14	8 - 16	8 - 20
Porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505)	3 - 5	3 - 5	3 - 5
Vacíos en el agregado mineral	Ver Tabla 13		
Inmersión - Compresión (MTC E 518)			
1. Resistencia a la Compresión Mpa min.	2.1	2.1	1.4
2. Resistencia Retenida % (min)	75	75	75
Relación Polvo – Asfalto (2)	0.6 – 1.3	0.6 – 1.3	0.6 – 1.3
Relación Estabilidad / flujo (kg/cm) (3)	1700 - 4000		
Resistencia Conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	80 mín.		

(1) A la fecha se tienen tramos efectuados en el Perú que tienen el rango 2% a 4% (es deseable que tienda al menor 2%) con resultados satisfactorios en climas fríos por encima de 3.000 m.s.n.m. que se recomienda en estos casos.

(2) Relación entre el porcentaje en peso del agregado más fino que el tamiz 0.075 mm y el contenido de asfalto efectivo, en porcentaje en peso del total de la mezcla.

(3) Para zonas de clima frío es deseable que la relación Est. / Flujo sea de la menor magnitud posible.

(4) El índice de Compactabilidad mínimo será 5.

El índice de Compactabilidad se define como: $\frac{1}{GEB\ 50 - GEB\ 5}$

Siendo GEB50 y GEB5, las gravedades específicas bulk de las briquetas a 50 y 5 golpes.

Nota: Tomado del Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013). Recuperado de http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4955.pdf

Tabla n.º 13.

Vacíos en el agregado mineral (VMA)

Tamiz	Vacíos mínimos en agregado mineral %	
	Marshall	
2.36 mm (N° 8)	21	
4.75 mm (N° 4)	18	
9.5 mm (3/8")	16	
12.5 mm (1/2")	15	
19.9 mm (3/4")	14	
25.0 mm (1")	13	
37.5 mm (1 1/2")	12	
50.0 mm (2")	11.5	

Nota: Los valores de esta tabla serán seleccionados de acuerdo al tamaño máximo de las mezclas que se dan en la subsección 1.5.7.4. Las tolerancias serán definidas puntualmente en función de las propiedades de los agregados.

Nota: Tomado del Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013). Recuperado de http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4955.pdf

1.5.7.8. Diseño de mezcla asfáltica modificada con polímeros:

Aplicando nuevas tecnologías como son los modificadores poliméricos en los líquido asfáltico, podremos aprovechar mejor el líquido asfáltico en las capas de las vías. Dicha tecnología nos permite incrementar los polímeros en asfaltos normales, la ventaja de realizar esta operación es mejorar sus propiedades mecánicas, dando una mejor estabilidad y mejor resistencia a la deformación los cuales pueden ser afectados por temas de lluvia, viento, temperatura y también por la sobre carga de los vehículos que transitan por la vía. (Asfaltos Modificados con Polímeros – Monografias.com).

Los objetivos que se persiguen con la modificación de los asfaltos con polímeros, es contar con ligantes más viscosos a temperaturas elevadas para reducir las deformaciones permanentes (ahuellamiento), de las mezclas que componen las capas de rodamiento, aumentando la rigidez. El mejor aprovechamiento de modificar el líquido asfáltico con polímeros es en zonas de altura, donde se produce una gradiente térmica considerable, durante el día se eleva la temperatura y por las noches baja bruscamente, en una mezcla normal ocasiona grietas y fisuras, esto es lo que disminuye al incrementar los polímeros al líquido asfáltico, y otro punto importante es la elasticidad que tiene, alargando el tiempo de fatiga. Y otra de sus mejores características es su adherencia a los agregados. (Asfaltos Modificados con Polímeros – Monografias.com).

BETUTEC IC: Es un asfalto modificado con polímeros elastoméricos, como el SBS u otros, de acuerdo a los requerimientos de los proyectos. Los asfaltos modificados con polímeros tienen mejor comportamiento que los asfaltos convencionales, tanto en altas como

en bajas temperaturas, proporcionando mayor vida útil al pavimento. (Betutec – TDM Asfaltos).

Ventajas

- Baja susceptibilidad térmica.
- Alta resistencia a la deformación permanente.
- Mayor resistencia a la fatiga.
- Aumento de la flexibilidad y elasticidad a bajas temperaturas.
- Incremento de módulo de rigidez a altas temperaturas.
- Mejor adhesividad con los agregados.

1.5.7.9. Diseño de mezcla asfáltica convencional:

En una mezcla asfáltica convencional, el asfalto y los agregados son combinados en proporciones exactas, la composición de las proporciones referentes a los componentes empleados serán las que determinen el comportamiento físico de la mezcla asfáltica e inciertamente el desempeño de la mezcla como carpeta acabada. Existen varios métodos de diseño comúnmente utilizados para determinar las proporciones apropiadas de agregado y asfalto en una mezcla, en este trabajo nos enfocaremos al método Marshall. (Capítulo iv diseño de mezclas asfálticas – Biblioteca).

1.5.8. Rueda Cargada de Hamburgo (HWTD)

El ensayo de la Rueda de Hamburgo fue desarrollado en Alemania en 1970, tomando como idea principal un modelo de origen Británico. Es ampliamente utilizado en EE.UU y Europa para evaluar mezclas asfálticas en relación a su resistencia a la humedad y al ahuellamiento. En EEUU está normalizado en AASHTO T 324-04 Standard Method of test of Hamburg Wheel-Track Testing of Compacted Hot Mix Asphalt. (Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de Ingeniería Civil Sección de Postgrado la Deformación Permanente en las Mezclas Asfálticas y el Consecuente, 2011).

“La Rueda de Hamburgo es sin duda el equipo más utilizado para evaluar la deformación permanente de las mezclas asfálticas en las condiciones más desfavorables: sumergidas en agua a altas temperaturas.” (La Rueda de Hamburgo pavelab dwt – Controls Group, 2014).

La rueda cargada de Hamburgo (HWTD), la desarrollo la compañía Helmit-Wind, de Alemania. Se utiliza como especificación en algunas de las carreteras más transitadas en Alemania para evaluar la deformación permanente y la susceptibilidad de la mezcla asfáltica a la humedad (stripping). (01 portada IMT [1] – Instituto Mexicano del Transporte, 2005)

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Determinar cuál de las dos mezclas presenta el mejor comportamiento mecánico, si la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS Betutec IC o la mezcla asfáltica convencional 60/70.

1.6.2. Objetivos específicos

Objetivos específicos 1

Encontrar los valores de estabilidad, flujo y el óptimo contenido de asfalto porcentual, que presentará la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS Betutec IC y la mezcla asfáltica convencional 60/70.

Objetivos específicos 2

Determinar el grado de desempeño al ahuellamiento bajo condiciones de humedad de la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS Betutec IC y la mezcla asfáltica convencional 60/70, mediante la prueba de Rueda de Hamburgo.

Objetivos específicos 3

Determinar los valores de resistencia a la deformación permanente que presentará la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS Betutec IC y la mezcla asfáltica convencional 60/70.

1.7. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general

Aplicando las técnicas estandarizadas para la utilización de mezclas asfálticas modificadas con polímeros SBS Betutec IC se mejorará las propiedades mecánicas de resistencia, comparada con una mezcla convencional 60/70, obteniendo como consecuencia un mayor desempeño ante las cargas de tráfico, alargando la vida útil del pavimento.

1.6.2. Hipótesis específicas

Hipótesis específicas 1

Con el empleo de la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS Betutec IC nos ofrecerá un mayor nivel de estabilidad con un menor nivel de flujo y un menor óptimo contenido de asfalto porcentual en comparación a la mezcla asfáltica convencional 60/70.

Hipótesis específicas 2

Con el empleo de la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS Betutec IC nos ofrecerá un mejor desempeño al ahuellamiento bajo condiciones de humedad en comparación a la mezcla asfáltica convencional 60/70.

Hipótesis específicas 3

Con el empleo de la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS Betutec IC nos ofrecerá una mejor respuesta a la resistencia a la deformación permanente en comparación a la mezcla asfáltica convencional 60/70.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Metodología de la investigación

2.1.1. Diseño de investigación

La presente investigación es Experimental, según a lo que indica Hernández, S. et. al, (2010), “Experimento Situación de control en la cual se manipulan, de manera intencional, una o más variables independientes (causas) para analizar las consecuencias de tal manipulación sobre una o más variables dependientes (efectos).”

En nuestro caso manejamos tres variables independientes, mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS Betutec IC, mezcla asfáltica convencional 60/70 y número de repeticiones de carga (N) que al analizarlas podremos apreciar las variaciones de resultados que afectarán directamente en las variables dependientes, deformación permanente para ambos diseños.

2.1.2. Tipo de investigación

El presente proyecto es una investigación cuantitativa, según Hernández, S. et. al, (2010), “es secuencial y probatorio. Es una secuencia de eventos en los cuales debemos respetar el orden, sin saltarnos pues una cosa lleva a otra, aunque también hay la posibilidad de modificar alguna etapa. Todo nace de una inquietud que va tomando forma, de la cual nacen interrogantes y objetivos, recurrimos a investigaciones pasadas y en base a ello edificamos un conjunto de procedimientos, ideas y teorías. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se determina un esquema en el cual nuestras hipótesis son demostradas; evaluamos las variables en un entorno establecido; se analizan las mediciones obtenidas (con frecuencia utilizando métodos estadísticos), y se establece una serie de conclusiones respecto de la(s) hipótesis.”

Esta investigación se plantea un problema de estudio delimitado y concreto, considerando investigaciones pasadas basadas en temas similares al nuestro, se construye un marco teórico, derivando de este una o varias hipótesis y las somete a prueba mediante el empleo de los diseños de investigación apropiados, así también la recolección de los datos se fundamenta en la medición, esta recolección es llevada a cabo utilizando procedimientos estandarizados y aceptados por una comunidad científica, para que otros investigadores acepten una investigación deben demostrarse que se siguieron tales procedimientos.

2.1.3. Nivel de Investigación

El presente proyecto es una investigación de tipo explicativa - correlacional, según Hernández, S. et. al, (2010). Se clasifica como explicativa debido a que está dirigida principalmente a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales,

enfocándose en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta o por que se relacionan dos o más variables, así también, se clasifica como correlacional debido a que su finalidad principal es conocer la relación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en un contexto en particular, evaluando el grado de asociación entre dos o más variables, miden cada una de ellas y después, cuantifican y analizan la vinculación, tales correlaciones están sustentadas en hipótesis sometidas a prueba.

2.1.4. Definición de Variables

2.1.4.1. Variables Independientes

Mezcla Asfáltica Modificada con Polímeros SBS Betutec IC:

Es una mezcla de agregados (incluido el polvo mineral) y asfalto producidos en caliente, aproximadamente de 165°C a más, en este caso se utilizará asfalto modificado con polímeros SBS, siendo las características representativas de estas mezclas las siguientes:

- Volumen y peso de agregados mineral
- Temperatura °C
- % de vacíos en la mezcla
- Contenido de asfalto Modificado en %

Mezcla Asfáltica Convencional 60/70:

Al igual que la mezcla modificada, es una mezcla de agregados (incluido el polvo mineral) y asfalto cuyo grado de penetración PEN es 60/70 producidos en caliente, aproximadamente a 150°C, dependiendo principalmente de su carta de viscosidad la temperatura. Luego de producida esta mezcla enseguida es colocada en la obra, siendo las características representativas de estas mezclas son las siguientes:

- Volumen y peso de agregados mineral
- Temperatura °C
- % de vacíos en la mezcla
- Contenido de asfalto PEN en %

Número de repeticiones de carga (N):

Es el número de veces que pasa la rueda de Hamburgo sobre las muestras de mezclas asfáltica en caliente, desde que se inicia la prueba N=0 hasta que dichas muestras alcancen los diferentes niveles de deformaciones.

2.1.4.2. Variables Dependientes

Resistencia a la Deformación Plástica y Permanente de la Mezcla Asfáltica Modificada con Polímeros SBS Betutec IC:

Las deformaciones plásticas y permanentes son el deterioro del asfalto (modificado con polímeros SBS) caracterizado por la existencia de una sección transversal de la superficie que ya no ocupa su posición original. Se llama deformación "permanente" pues representa la acumulación de pequeñas deformaciones producidas con cada aplicación de carga que son irreversibles. (Morea, 2011, p. 7).

Resistencia a la Deformación Plástica y Permanente de la Mezcla Asfáltica Convencional 60/70:

Las deformaciones plásticas y permanentes son el deterioro del asfalto (convencional) caracterizado por la existencia de una sección transversal de la superficie que ya no ocupa su posición original. Se llama deformación "permanente" pues representa la acumulación de pequeñas deformaciones producidas con cada aplicación de carga que son irreversibles. (Morea, 2011, p. 7).

Tabla n.º 14.

Operacionalización de Variables

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES			
VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INTRUMENTOS
VARIABLE INDEPENDIENTE			
V1: Mezcla Asfáltica Modificada con Polímeros SBS Betutec IC	Son una mezcla de agregados y ligante producidos en caliente, aproximadamente de 165°C a más.	Sistema de unidades: Peso (Kg)	Manual EG-2013 del MTC Formatos de Laboratorio Tablas
V2: Mezcla Asfáltica Convencional 60/70	Mezcla asfáltica combinación de áridos (incluido el polvo mineral) con un ligante. El proceso de fabricación implica calentar el agregado pétreo y el ligante a alta temperatura, aproximadamente a 150°C.	Sistema de unidades: Peso (Kg)	Manual EG-2013 del MTC Formatos de Laboratorio Tablas
V3: Número de Repeticiones de Carga	Número de pasadas de la Rueda de Hamburgo	Sistema de unidades: Adimensional	Formatos de Laboratorio Reporte computador de Máquina de Hamburgo
VARIABLE DEPENDIENTE			
V1: Resistencia a la Deformación plástica y permanente de la Mezcla Asfáltica Modificada con Polímeros SBS Betutec IC	Las deformaciones plásticas y permanentes son el deterioro del asfalto caracterizado por la existencia de una sección transversal de la superficie que ya no ocupa su posición original.	Estabilidad Flujo Profundidad de ahuellamiento en mm.	Norma AASHTO T 324-04 Prensa Marshall Formatos de Laboratorio
V2: Resistencia a la Deformación plástica y permanente de la Mezcla Asfáltica Convencional 60/70	Las deformaciones plásticas y permanentes son el deterioro del asfalto caracterizado por la existencia de una sección transversal de la superficie que ya no ocupa su posición original.	Estabilidad Flujo Profundidad de ahuellamiento en mm.	Norma AASHTO T 324-04 Prensa Marshall Formatos de Laboratorio

Nota. En la tabla están colocadas las variables independientes (causas) con su definición, dimensiones e instrumentos y las variables dependientes (efectos) con su definición, dimensiones e instrumentos.

Elaborado por los Autores

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

2.2.1. Población

En la presente investigación la población en estudio estuvo constituida por la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS Betutec IC y la mezcla asfáltica convencional 60/70, se debieron realizar 30 briquetas de mezclas asfálticas, 15 briquetas para modificada con polímeros SBS y 15 briquetas para convencional, con las cuales realizaremos el ensayo Marshall y poder determinar el óptimo contenido de asfalto y demás resultados propios de la prueba. Además de 2 briquetas por diseño para la determinación de la resistencia a la deformación permanente.

2.2.2. Muestra

La muestra utilizada en esta investigación está conformada por la misma que se detalló en la población, las 30 briquetas con las cuales determinaremos los óptimos para cada diseño (15 por diseño) y 2 briquetas por diseño para determinar mediante el ensayo de la Rueda de Hamburgo cuál de los dos diseños tiene mejor desempeño.

2.2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Para la recolección de datos de esta investigación basada en pruebas de laboratorio utilizamos técnicas para medir la información de forma organizada y los instrumentos fueron la herramienta para recolectar la información necesaria para desarrollar nuestro trabajo. Nuestras muestras de agregados fueron recolectados de las canteras Rumi y Crushing y el asfalto fue recolectado de TDM Asfaltos SAC.

2.2.3.1. Técnicas e instrumentos

La técnica utilizada para la realización de los diseños de mezcla asfáltica modificada con polímeros y mezcla asfáltica convencional fueron los ensayos de acuerdo al Manual de Ensayo de Materiales 2016 y al Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013, tanto a los agregados, cementos asfálticos y mezclas asfálticas.

Se realizaron ensayos de caracterización de los agregados para poder determinar su calidad y cumplimiento con los parámetros establecidos, tales como:

- Contenido de humedad.
- Análisis granulométrico,
- Límites de consistencia,
- Desgaste por abrasión,
- Porcentaje de caras fracturadas,
- Equivalente de arena.

Así también al cemento asfáltico se realizaron:

- Viscosidad Cinemática al asfalto convencional 60/70
- Viscosidad Rotacional Brookfield al asfalto modificado.

Para la ejecución de los diseños se utilizó el método Marshall y así poder determinar el comportamiento mecánico de ambas mezclas, ensayos como:

- Estabilidad.
- Flujo.
- Peso Específico Máximo Teórico.
- Peso unitario.

Los instrumentos utilizados para la recolección de datos para el Marshall fueron los formatos para poder desarrollar los datos obtenidos de los ensayos realizados.

El equipo para realizar el ensayo de Rueda de Hamburgo lleva acoplado dispositivos electrónicos capaces de medir los siguientes parámetros:

- Temperatura en °C (Se mide mediante una Resistencia de medición de temperatura).
- Frecuencia de carga en Hz (Dispositivo de aplicación de carga).
- Carga aplicada (Cilindro neumático adosado al dispositivo de aplicación de carga).
- Número de repeticiones de carga, medido a través de un Sensor LVDT (transformador diferencial de variación lineal).
- Deformaciones permanentes o plásticas, medido a través de un Sensor LVDT (transformador diferencial de variación lineal).

A continuación, una figura donde se aprecian el software de medición de datos del ensayo de Rueda de Hamburgo:

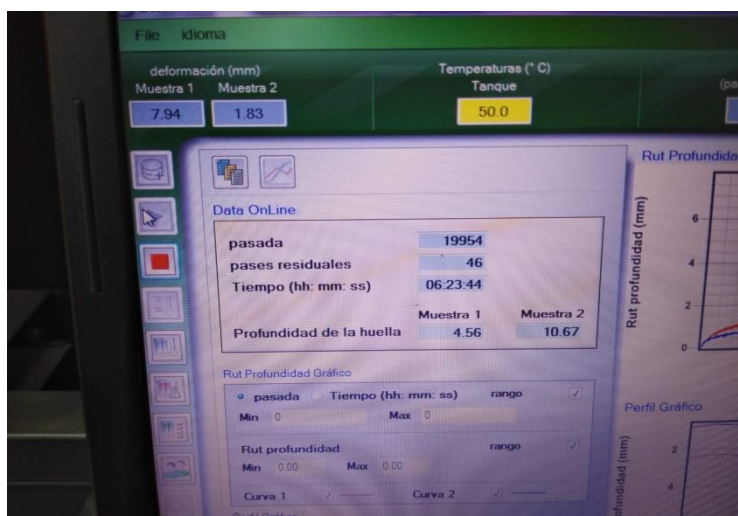


Figura n.º 8. Medición de datos en ensayo Rueda de Hamburgo.

Nota: Figura donde se aprecian el software de medición de datos del ensayo de Rueda de Hamburgo

Elaborado por los Autores

2.2.3.2. Análisis de datos

Todos los ensayos de laboratorio se procesan en libros de cálculo, los formatos para todos los ensayos ya están elaborados y nos permitió obtener los resultados tanto de los agregados como de los dos diseños de mezcla.

Para el caso de los ensayos a los agregados pétreos se utilizaron las curvas de husos granulométricos, tablas de rangos en porcentajes que pasa determinado tamiz, tablas de rangos de porcentajes máximos y mínimos lo que permite verificar el cumplimiento de los agregados.

Y, para la mezcla asfáltica en caliente al igual que los agregados pétreos se utilizaron tablas de rangos de porcentajes máximos y mínimos lo que permite verificar el cumplimiento de los parámetros de diseño.

En el caso del ensayo de Rueda de Hamburgo, el análisis de datos se realiza utilizando la curva: Número de Repeticiones de Carga (N) versus Deformaciones Permanente o Impresiones, lo cual permite determinar el número de repeticiones para las distintas etapas de deformación:

- N1 a la cual se alcanza la consolidación Post Compactación de la mezcla (Consolidación).
- N2 para alcanzar el Punto de Inflexión Stripping (Medición del daño potencial por humedad).
- N3 para alcanzar la falla del material de mezcla.

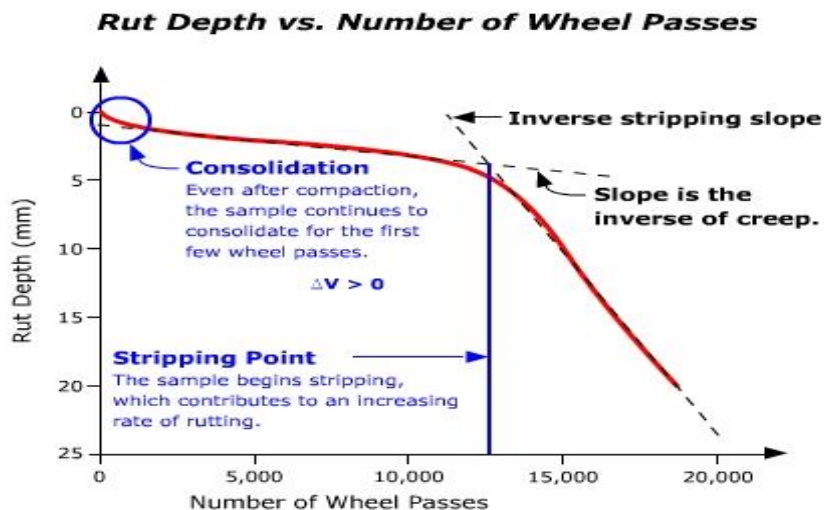


Figura n.º 9. Deformación vs Número de pasadas. Adaptado de "Laboratory Wheel Tracking Devices, 2004". Recuperado de <https://www.pavementinteractive.org/reference-desk/testing/asphalt-tests/laboratory-wheel-tracking-devices/>

2.3. Procedimiento

2.3.1. Objetivo 1:

Encontrar los valores de estabilidad, flujo y el óptimo contenido de asfalto porcentual, que presentará la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS Betutec IC y la mezcla asfáltica convencional 60/70.

Procedimiento

Para encontrar los valores de estabilidad, flujo y el óptimo contenido de asfalto que presentará la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS Betutec IC y la mezcla asfáltica convencional 60/70, realizaremos los diseños de mezclas en caliente para ambos líquidos, comenzando con la caracterización de los agregados para verificar las tentativas de curvas que encajen con la gradación de la ASTM D-3515 (huso 5) escogida para nuestra investigación, luego se procederá al chancado de la mezcla de agregados + asfalto en incrementos de 0.5% y en función a estos ensayos hallaremos el óptimo contenido de asfalto que será verificado, la estabilidad y el flujo de ese óptimo.

2.3.2. Objetivo 2:

Determinar el grado de desempeño al ahuellamiento bajo condiciones de humedad de la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS Betutec IC y la mezcla asfáltica convencional 60/70, mediante la prueba de Rueda de Hamburgo.

Procedimiento

Para determinar el grado de desempeño al ahuellamiento bajo condiciones de humedad de la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS Betutec IC y la mezcla asfáltica convencional 60/70, mediante la prueba de Rueda de Hamburgo, se procederá a colocar las muestras en la máquina de Hamburgo ya compactadas en el compactador superpave y verificado su porcentaje de vacíos que este entre 6.0% y 8.0% y luego empezar el ensayo determinar en qué momento (N° de pasadas) comienza a desprenderse el asfalto del agregado, es decir comienza a perder adherencia por causa de la presencia del agua más la fricción de las pasadas.

2.3.3. Objetivo 3:

Determinar los valores de resistencia a la deformación permanente que presentará la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS Betutec IC y la mezcla asfáltica convencional 60/70.

Procedimiento

Para determinar los valores de resistencia a la deformación permanente que presentará la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS Betutec IC y la mezcla asfáltica convencional 60/70, se procederá a colocar las muestras en la máquina de Hamburgo ya compactadas en

el compactador superpave y verificado su porcentaje de vacíos que este entre 6.0% y 8.0% y al término del ensayo se determinará de acuerdo a la deformación en mm que presente cada muestra cual presenta mejor resistencia a la deformación permanente.

2.4. Desarrollo

2.4.1. Objetivo 1:

Encontrar los valores de estabilidad, flujo y el óptimo contenido de asfalto porcentual, que presentará la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS Betutec IC y la mezcla asfáltica convencional 60/70.

2.4.1.1. Marco teórico

La estabilidad, es la capacidad de carga máxima de un asfalto antes de sufrir fallas, tanto de deformación como desplazamientos.

El flujo, mide la deformación a esa carga máxima de la estabilidad, su forma de medición es en centésimas de pulgada, básicamente mide la deformación de la briqueta.

El óptimo contenido de asfalto es la cantidad exacta de asfalto agregada a la mezcla para producir las propiedades esperadas conforme a especificación. (Capítulo iv diseño de mezclas asfálticas – Biblioteca).

Mezcla Asfáltica Modificada con Polímeros SBS Betutec IC, es una mezcla de agregados (incluido el polvo mineral) y asfalto producidos en caliente, aproximadamente de 165°C a más, en este caso se utilizará asfalto modificado con polímeros SBS.

Mezcla Asfáltica Convencional 60/70, es una mezcla de agregados (incluido el polvo mineral) y asfalto cuyo grado de penetración PEN es 60/70 producidos en caliente. El proceso de fabricación implica calentar el agregado pétreo y el asfalto a alta temperatura, aproximadamente a 150°C. Luego de producida esta mezcla enseguida es colocada en la obra

2.4.2. Objetivo 2:

Determinar el grado de desempeño al ahuellamiento bajo condiciones de humedad de la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS Betutec IC y la mezcla asfáltica convencional 60/70, mediante la prueba de Rueda de Hamburgo.

2.4.2.2. Marco teórico

Pruebas de desempeño al ahuellamiento bajo condiciones de humedad, son muy importante considerar debido a que muchas veces mezclas mal diseñadas con mucha susceptibilidad a la humedad no tendrán el comportamiento esperado para el cual fue diseñado. (Capítulo 4 Pruebas de desempeño para mezclas asfáltica).

Hamburg Wheel–Track, este método describe el procedimiento para evaluar la susceptibilidad a la deformación permanente y el daño por humedad de mezclas asfálticas en caliente usando especímenes sumergidos bajo la acción de una rueda oscilante en el equipo Rueda de Hamburgo. Este procedimiento aplica para especímenes cilíndricos compactados en laboratorio mediante el compactador giratorio Superpave, con dimensiones de aproximadamente de 150 mm de diámetro y 62 mm de altura.

Máquina de rueda cargada de Hamburgo, programada para mover una rueda fabricada de acero de 4.70 cm de ancho y 20.32 cm de diámetro, movimiento aplicado sobre una briqueta preparada, máquina de funcionamiento eléctrico. La rueda tendrá un peso normalizado de 71.6 ± 0.45 kg y al momento de realizarse el ensayo deberá ajustarse el número de pasadas a 52 ± 2 por minuto teniendo una velocidad promedio de 30.5 cm/s.

Control de sistema de temperatura, colocado para el control de la temperatura del agua en el equipo de Hamburgo al momento del ensayo, en una temperatura de 50 ± 1 °C.

Sistema de medición de huella, con la función de medir la profundidad de la huella en el centro del espécimen, a lo largo de toda la trayectoria de la rueda. Los datos obtenidos van relacionado la deformación con el número de pasadas.

Contador de paso de rueda, parte del equipo que tiene la función de contar las pasadas que realiza la rueda sobre la briqueta de ensayo. Éste contador es acoplado a la medición de la rueda lo que la huella expresada en profundidad sea expresada en función de las pasadas.

2.4.3. Objetivo 3:

Determinar los valores de resistencia a la deformación permanente que presentará la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS Betutec IC y la mezcla asfáltica convencional 60/70.

2.4.3.1. Marco teórico

Las deformaciones permanentes, son el deterioro del asfalto caracterizado por la existencia de una sección transversal de la superficie que ya no ocupa su posición original. Se llama deformación "permanente" pues representa la acumulación de pequeñas deformaciones producidas con cada aplicación de carga que son irrecuperables. (Morea, 2011, p. 7).

Importancia y aplicación del Hamburg Wheel – Track, el método es utilizado para determinar la susceptibilidad a la falla prematura de la Mezcla Asfáltica en Caliente debido a: la debilidad de la estructura de agregado, una rigidez inadecuada del ligante asfáltico o por daño por humedad. Este método de ensayo mide la profundidad de la huella y el número de pasadas a la falla. El potencial a los efectos causado por daño por humedad es evaluado debido a que el ensayo se hace sumergido en agua a una temperatura controlada durante la carga.

Sistema de montaje del espécimen de losa, fabricado de acero inoxidable que una vez montado sobre la máquina no debe moverse. Este sistema de montaje no debe permitir el movimiento de la muestra hacia ningún lado y debe permitir la libre circulación del agua por todos sus lados.

Sistema de montaje de espécimen cilíndrico, compuesto por dos moldes de polietileno donde son colocadas las muestras para luego ser llevados a la máquina de Hamburgo donde no debe permitir el movimiento de la muestra hacia ningún lado y debe permitir la libre circulación del agua por todos sus lados.

Compactador de amasado lineal hidráulico, es el compactador giratorio superpave normalizado con norma (ASTM D6925) equipo que usa una serie de herramientas para compactar mezclas asfálticas en caliente moldeadas para un grosor y densidad predeterminados.

Sierra, utilizada generalmente para el corte de las briquetas que serán usadas en el ensayo.

2.4.4. Desarrollo de la Investigación

2.4.4.1. Del Objetivo 1:

Para el desarrollo del objetivo 1 se realizaron diferentes ensayos a los agregados, a los líquidos asfálticos convencional y modificado, así como a las mezclas para hallar la estabilidad, flujo y óptimo contenido de asfalto, a continuación el desarrollo de los ensayos:

Ensayos a los agregados

2.4.4.1.1. Contenido de Humedad (MTC E 108 / ASTM D-2216)

Equipos

- Balanza 0.01gr menos de 200gr.
- Balanza de 0.1gr más de 200gr.
- Horno $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, termostáticamente controlado.
- Microondas o estufa.

Procedimiento

Con una pala recoger un mínimo de 1kg de suelo, muestra de la que se determinará el contenido de humedad. Colóquela dentro de una primera bolsa plástica, preservando la muestra de cualquier clase de contaminación.

Registrar la ubicación de donde fue tomada la muestra y colocar dicha identificación dentro de la segunda funda plástica que contendrá la muestra.

Pesar los recipientes que van a ser utilizados, revise que estos se encuentren perfectamente secos, limpios e identificados. (Pr).

Separar la muestra natural en 2 porciones, a su vez colóquelas en dos recipientes (si se va a utilizar el microondas – se debe usar un recipiente seguro) y proceda a pesar cada recipiente junto con la muestra (Ph). Poner los recipientes con las muestras de material en el horno (105 a 115°C), micro ondas o estufa.

Sacar los recipientes del horno, microondas o estufa y dejarlos enfriar a temperatura ambiente, Posteriormente pese los recipientes junto al material seco (Ps). Para poder determinar que el material está totalmente seco, se deben realizar pesajes seguidos hasta obtener masas constantes entre uno y otro pesaje.

Para el cálculo del contenido de humedad de suelo utilizar la siguiente fórmula:

$$\% \text{ humedad} = (Ph - Ps) / (Ps - Pr) * 100$$

Ecuación n.º 1. Porcentaje de humedad

Los valores calculados son registrados en el registro Ensayo de Humedad Natural.

2.4.4.1.2. Análisis Granulométrico de los Agregados (MTC E 204 / ASTM D 136)

Equipos

- Balanza 0.1gr.
- Horno 110 ± 5°C, termostáticamente controlado.
- Estufa.
- Tamices de acuerdo con las especificaciones.

Procedimiento

La muestra de agregado fino que se debe enviar al laboratorio para el análisis de los ensayos de calidad no debe ser menor de 25 kg, mientras que la muestra de agregado grueso no deberá ser menor a 75 kg.



Figura n.º 10. Muestreo de agregado grueso.

Nota: Recolección del material grueso para su análisis
Elaborado por los Autores

El agregado fino debe poseer cierta humedad para ser cuarteado, de tal forma que la muestra esté cohesiva y evite la segregación de las partículas gruesas, luego de ser cuarteado secar la porción de material en horno o estufa verificando el peso constantemente hasta que lo mantenga de manera constante.



Figura n.º 11. Muestreo de agregado fino.
Nota: Recolección del material fino para su análisis
Elaborado por los Autores

Obtener una muestra en estado seco que sea mayor de 500 g, tomar el peso inicial seco y tamizar, determinar el peso retenido en cada malla con aproximación a 0,1 g.



Figura n.º 12. Cuarteo de agregados canteras Rumi – Crushing.
Nota: Agregado fino sino cuarteado para su granulometría
Elaborado por los Autores

Determinar los porcentajes retenidos, porcentajes retenidos acumulados y dibujar la curva granulométrica con su respectiva especificación.



Figura n.º 13. Tamizado de agregados
Nota: Agregado grueso siendo tamizado
Elaborado por los Autores

Si el agregado grueso se encuentra húmedo, secarlo hasta peso constante, si el agregado se encuentra aparentemente seco se puede utilizar para el ensayo. Tomar una muestra por cuarteo y se procede a tamizar utilizando los tamices de acuerdo a la especificación de diseño.

Se calcula el porcentaje retenido sobre cada tamiz en la siguiente forma:

$$\% \text{ retenido} = \frac{\text{peso retenido en el tamiz}}{\text{peso total}} \times 100$$

Ecuación n.º 2. Porcentaje retenido

Se calcula el porcentaje más fino, restando en forma acumulativa de 100% los porcentajes retenidos sobre cada tamiz:

$$\% \text{ pasa} = 100 - \% \text{ retenido acumulado}$$

Ecuación n.º 3. Porcentaje que pasa

Para nuestra investigación consideramos la gradación de la ASTM D-3515 (huso 5).

2.4.4.1.3. Límites de Consistencia (MTC E 110 / MTC E 111 / ASTM D-4318)

Equipos

- Dispositivo de Limite Liquido completo
- Balanza 0.01gr.
- Horno $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, termostáticamente controlado.
- Placa de vidrio (esmerilado)
- Estufa.

Procedimiento

Seleccionar suficiente suelo para obtener de 150 a 200 gr de material que pase el tamiz N°40, sumergir el suelo en un plato de mezclado con una pequeña cantidad de agua para suavizar el suelo antes de comenzar el mezclado.

Limite Líquido: Separar una cantidad de material que ya ha sido preparado previamente con cierta cantidad de agua, colocarlo en copa Casagrande y esparcirlo presionando hasta obtener una profundidad de 1cm aproximadamente en su punto central de la copa, tratando de hacerlo lo más horizontal posible.

Mantener el suelo no usado en el plato de mezclado, cubrir el plato con un paño húmedo, usando el acanalador (o ranurador) separar la porción de suelo colocada en la copa por el centro de la misma, hacerlo desde la parte más alta de la muestra hacia abajo.

Cuando se corta la ranura mantener el acanalador contra la superficie de la copa, en los suelos en los que no se pueda hacer la ranura en una sola pasada sin desgarrar el suelo, cortar la ranura con varias pasadas del acanalador.

Hacer girar el manubrio de la copa tratando de mantener una velocidad de 1,9 a 2,1 golpes por segundo, cuando se aprecie que las dos mitades de muestra se junten en la base de la copa en una longitud de 1.3cm dejar de girar el manubrio.

Si el suelo se desliza sobre la superficie de la copa repetir a un contenido de humedad más elevado. Si luego de varias pruebas de contenido de humedad sucesivamente más altos la pasta de suelo se sigue deslizando en la copa o si el número de golpes necesarios para cerrar la ranura es siempre menor que 25, se registrara el limite liquido como no plástico (NP) sin realizar el limite plástico.

Anotar la cantidad de golpes necesarios para que se produzca el cierre de la ranura, Coger una porción de muestra de la copa de aproximadamente 2cm, depositarla en un recipiente tarado y tapanlo para que no pierda su humedad.

El suelo sobrante en la copa colocarlo nuevamente en el plato de mezclado, homogeneizar toda la muestra en el plato colocándole incrementos de agua para hacer mayor su contenido de humedad y por consiguiente conseguir cerrar la ranura en una cantidad menor de golpes.

Repetir para al menos 2 pruebas adicionales produciendo número de golpes sucesivamente más bajos para cerrar la ranura. La secuencia para realizar estas pruebas es como sigue: un punto entre 25 a 35 golpes, otro punto entre 20 y 30 golpes y un último punto entre 15 a 25 golpes.

Calcular el contenido de humedad del suelo (W_n) en cada prueba.

Límite Plástico: Seleccionar una porción de 20gr del material preparado para el límite líquido, tomar de 1,5 a 2gr formar una masa elipsoidal con el espécimen de ensayo, enrollar la masa entre la palma o los dedos y la placa de vidrio con la presión necesaria para enrollar la masa en un hilo de diámetro de 3,2mm (1/8") en no más de 2 minutos.

Se continúa este enrollamiento cuantas veces sea necesario, hasta que el suelo se desmenuce o presente signos de fisuras cuando es llevado a hilos de 3,2mm de diámetro.

Reunir las porciones del hilo agrietado y colocarlas en un recipiente de peso conocido, repetir las operaciones hasta que el recipiente tenga no menos de 6gr, tener dos recipientes como mínimo. Determinar el contenido de humedad del suelo contenido en los recipientes.

Para el límite líquido representar la relación entre el contenido de humedad y el número de golpes correspondiente de la copa sobre un gráfico semilogarítmico. Trazar la mejor línea que pase por los 3 puntos o más puntos graficados. Tomar el contenido de humedad correspondiente a la intersección de la línea con la abscisa de 25 golpes como límite líquido del suelo. Se calcula el límite plástico promediando la suma de 2 contenidos de humedad.

Índice Plástico

$$IP = LL - LP$$

Ecuación n.º 4. Índice de plasticidad

Dónde:

IP= Índice de Plasticidad

LL= Limite Líquido

LP= Limite Plástico

2.4.4.1.4. Desgaste por Abrasión (MTC E 207 / ASTM C-535 / ASTM C-131)

Equipos

- Máquina de los Ángeles.
- Balanza con aproximación a 1gr.
- Horno $110 \pm 5^\circ\text{C}$, termostáticamente controlado.
- Tamiz N°12
- Juego de tamices.
- Estufa.

Procedimiento

Recolectar el material para prueba. La muestra puede ser de tamaños menores ASTM C-131 (1 1/2" hasta el N°8) o tamaños mayores (de 3" hasta 3/4"). Realizar un análisis granulométrico y determinar el método.

Luego de obtener una mezcla compuesta con los pesos indicados, el material es lavado y secado al horno por 24 horas hasta peso constante. Verificar los tamaños de las partículas por tamizado, finalmente componer la muestra y tomar el peso inicial seco en gramos. Verter el material dentro de la máquina de abrasión y agregar la carga abrasiva (esferas de acero) de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla n.º 15.

Carga abrasiva de acuerdo a gradación

Gradación	Nº de Esferas
1	12
2	12
3	12
A	12
B	11
C	8
D	6

Nota: Cantidad de esferas a utilizar en el ensayo de acuerdo al método.
Elaborado por los Autores

Hacer girar la maquina a las revoluciones indicadas de acuerdo a los tamaños de los agregados:

Tamaños mayores = 1000 revoluciones

Tamaños menores = 500 revoluciones

Esta máquina gira a una velocidad de 33 RPM completando las 1000 revoluciones en aproximadamente 30 minutos y las 500 revoluciones en aproximadamente 15 minutos.

Luego del total de revoluciones extraer el material de la Maquina de los Ángeles en una bandeja (accesorio de la maquina) y tamizar por la malla N°12, lavar en material retenido llevarlo al horno hasta peso constante, volver a tamizar por la malla N°12 y pesar.

$$\% \text{ de abrasión} = \left(\frac{PIS - PFS}{PIS} \right) \times 100$$

Ecuación n.º 5. Porcentaje de abrasión

Donde:

PIS = Peso Inicial Seco (g)

PFS = Peso Fina Seco (g)

2.4.4.1.5. Porcentaje de Caras Fracturadas en los Agregados

(MTC E 210 / ASTM D-5821)

Equipos

- Balanza con aproximación a 1gr.

- Cuarteador.
- Tamices 1½", 1", ¾", ½", ⅜"

Procedimiento

La muestra para ensayo deberá ser representativa y se obtendrá mediante un cuidadoso cuarteo del total de la muestra recibida. Hacer el análisis granulométrico de la muestra cuarteada.

Separar por tamizado la fracción de la muestra comprendida entre los tamaños (1½" y ⅜"), descartar el resto. El peso total de la muestra dependerá del tamaño del agregado así:

Tabla n.º 16.

Peso de la muestra de acuerdo a gradación

Tamaño del agregado		Peso (g)
2"	1 ½"	7500
1 ½"	1"	3000
1"	¾"	1500
¾"	½"	500
½"	⅜"	200

Nota: El peso de material a utilizar en el ensayo a partir del primer retenido según su análisis granulométrico.

Elaborado por los Autores

Extender la muestra para inspeccionar cada partícula, si es necesario lavar el agregado sucio para una mejor evaluación.

Preparar tres recipientes separar las partículas redondeadas y las que tengan una o más de dos caras fracturadas. Si una partícula de agregado redondeada presenta una fractura muy pequeña, no calificará como fracturada.

Una partícula se considera fracturada cuando un 25% o más de su área aparecen fracturada. Las fracturas deben ser recientes y producidas de forma mecánica, más no las producidas por la naturaleza.

Pesar los dos recipientes con las partículas fracturadas, tener en cuenta la suma del peso de ambos recipientes cuando se determine las partículas con una sola cara fracturada.

Para llevar a cabo los cálculos, seguir el formato que se adjunta en el anexo 6. Anotar en la columna A, el peso exacto de las porciones de la muestra tomadas para el ensayo. En la columna B anotar el peso del material con una cara fracturada para cada tamaño. La columna C representa el porcentaje de material con una cara fracturada para cada tamaño:

$$C = (B/A) \times 100$$

Ecuación n.º 6. Porcentaje con una cara fracturada para cada tamaño

Registrar en la columna D los valores del análisis granulométrico de la muestra. Después de calcular la columna E = C x D y sumar los valores de cada columna, el porcentaje de caras fracturadas se calcula así:

$$\% \text{ caras fracturadas} = \frac{\text{suma de \% caras fracturadas}}{\text{poderados segun gradacion original}} = \frac{\text{Total E}}{\text{Total D}}$$

muestra de ensayo como % del material original

Ecuación n.º 7. Porcentaje de caras fracturadas

Repetir el cálculo para los materiales con dos caras fracturadas.

2.4.4.1.6. Equivalente de Arena (MTC E 114 / ASTM D-2419)

Equipos

- Tubo irrigador.
- Balanza con aproximación a 0.1gr.
- Agitador.
- Horno 110 ± 5°C, termostáticamente controlado.
- Cilindro graduado de plástico.
- Dispositivo para tomar lecturas.

Procedimiento

Colocar el sifón en la botella de 1 galón de solución de trabajo de cloruro de calcio. Colocar la botella en un estante que se encuentre a 36 ± 1" (91 ± 3 cm) sobre la superficie de trabajo. Ingresar 4 ± 0.1" (102 ± 3mm) de la solución de trabajo de cloruro de calcio en el cilindro de plástico. Vaciar uno de los especímenes en el cilindro plástico el embudo para evitar se derrame.



Figura n.º 14. Vaciado de la solución stock.

*Nota: Agregado fino sino cuarteado ensayo de equivalente
Elaborado por los Autores*

Propinar golpes a la base del cilindro con la mano en repetidas ocasiones con la intención de quitar la mayor cantidad de aire atrapado en la muestra para conseguir el humedecimiento total de la muestra de suelo, permitir que el espécimen humedecido y el cilindro permanezcan inalterados por 10 ± 1 minuto.



Figura n.º 15. Equivalente de arena
Nota: Vaciado de material fino a las probetas
Elaborado por los Autores

Luego del periodo de inmersión de 10 minutos, tapar el cilindro aflojar el material de la base invirtiendo parcialmente el cilindro y agitiéndolo simultáneamente luego de aflojar el material de la base del cilindro.

El cilindro de permanecer en posición horizontal y luego sacudirlo con fuerza horizontalmente de lado a lado. Agitar el cilindro 90 ciclos aproximadamente por 30 segundos usando una carrera de 9 ± 1 " (23 ± 3 cm), un ciclo consta de un movimiento completo de ida y vuelta.

Insertar el tubo irrigador en la parte superior del cilindro, enjuagar el material de las paredes del cilindro mientras el irrigador es introducido. Forzar el irrigador a través del material a la base del cilindro, esto desplaza el material fino en suspensión sobre las partículas de arena más gruesas.

Continuar aplicando la acción de presión y giro mientras se desplazan los finos hacia arriba. Regular el flujo justo antes que el tubo irrigador sea completamente retirado y ajustar el nivel final a la graduación de 15" (38cm).



Figura n.º 16. Tubo irrigador
 Nota: Lavado de finos con el tubo irrigador
 Elaborado por los Autores

Permitir que el cilindro y sus contenidos permanezcan inalterados por 20 min ± 15 segundos, luego del periodo de sedimentación de 20 minutos leer y registrar el nivel de la parte superior de arcilla (lectura de arcilla). Luego de haber tomado la lectura de arcilla, colocar el peso sobre el cilindro y descenderlo suavemente hasta que tome contacto con la arena.

En el momento que el peso tome contacto con la arena, leer y anotar el de la ranura del tornillo, la cual se denominara lectura de arena). Si la lectura se hace con el disco indicador, la lectura se obtendrá restando 10" (25.4cm) del nivel indicado por el borde superior del indicador.

Calcular el equivalente de área de la siguiente manera:

$$EA = \frac{\text{Lectura Arena}}{\text{Lectura Arcilla}} \times 100$$

Ecuación n.º 8. Equivalente de arena

2.4.4.1.7. Peso Específico y Absorción de agregados Gruesos

(MTC E 206 /ASTM C-127)

Equipos

- Balanza con aproximación a 1gr.
- Horno 110 ± 5°C, termostáticamente controlado.
- Estufa.

- Canastilla metálica.

Procedimiento

Tomar una muestra de agregado grueso según la siguiente tabla:

Tabla n.º 17.

Peso de la muestra de acuerdo a gradación

TMN	Peso min. kg
≤ 1/2"	2
3/4"	3
1"	4
1 1/2"	5
2"	8
2 1/2"	12
3"	18

Nota: El peso de material a utilizar en el ensayo según su tamaño máximo nominal.
Elaborado por los Autores

Obtener la cantidad por cuarteo que retenga la malla N°4 y saturarlo por 24 horas, decantar el agua y tomar el peso mínimo según el TMN aproximado de agregado saturado con superficie seca (agregado de SSS).



Figura n.º 17. Peso SSS en agua

Nota: Agregado grueso saturado para peso sumergido
Elaborado por los Autores

Esto se obtiene secando el agregado con la ayuda de una franela (la superficie de las partículas). Sumergir la canastilla metálica en un recipiente lleno de agua a un determinado nivel y que debe estar acoplado a la balanza hidrostática.



Figura n.º 18. Secado en estufa de agregados

Nota: Agregado fino y grueso secado para calcular su peso específico
Elaborado por los Autores

Registrar el peso de la canastilla dentro del agua y adicionar la muestra de agregado en SSS en la canastilla y pesar. Retirar la muestra, colocarla en un recipiente y llevarla al horno hasta peso constante.

2.4.4.1.8. Peso Específico y Absorción de agregados Finos

(MTC E 205 /ASTM C-128)

Equipos

- Fiola de 500 cm³
- Balanza con aproximación a 0.1gr.
- Horno 110 ± 5°C, termostáticamente controlado.
- Estufa.

Procedimiento

Saturar aproximadamente 1 kg de agregado fino por 24 horas, luego decantar el agua y extender el agregado saturado en una superficie no absorbente. Se deja que el agregado pierda humedad superficial gradualmente, este procedimiento se puede acelerar con la ayuda de un ventilador, cuando el agregado pierda cierta humedad se mezcla todo el material y se vuelve a extender asegurando una muestra homogénea.

Cuando el agregado se encuentra con baja humedad se comienza a probar el cono, introducir la arena y apisonar 25 veces con el pisón normalizado. Limpiar el agregado que se

ha caído a los costados y levantar el cono en forma vertical, si no hubiera desmoronamiento superficial se sigue extendiendo el material.



Figura n.º 19. Agregado + agua en la Fiola
Nota: Asentamiento de finos en la Fiola
Elaborado por los Autores

Se prueba hasta que se produzca un desmoronamiento parcial, es en ese momento que se dice que el agregado fino se encuentra en condición de SSS, momento en el cual se toma 500 g para el ensayo. Si por el contrario cuando se prueba el material en el cono y se desmorona totalmente se dice que ya pasó la condición de SSS.



Figura n.º 20. Peso específico agregado fino
Nota: Peso de Fiola + agua + material fino
Elaborado por los Autores

En este caso se puede adicionar unos cm³ de agua para humedecer la muestra y se coloca en un recipiente herméticamente cerrado por 30 minutos y luego se vuelve a probar en el cono hasta que alcance la condición de SSS.

Colocar 500 g de agregado en SSS en un balón de 500 cm³ de capacidad y de peso conocido, adicionarle agua hasta el 90% de su capacidad y realizar giros circulares con el fin de eliminar todas las burbujas de aire contenidas en la muestra.

Completar con agua hasta la marca y dejar en reposo por 1 hora o hasta que los finos se asienten, retirar con un papel absorbente la espuma en la superficie y completar con agua hasta la marca y luego pesar. Extraer la muestra y colocarla en un recipiente metálico de peso conocido y llevarlo al horno por 24 horas a peso constante.

2.4.4.1.9. Valor de Azul de Metileno en agregados Finos

(AASHTO TP 57-01)

Equipos

- Matraz 1000 ml.
- Vasos de 250 ml y 500 ml.
- Bureta 50 ml
- Varilla de vidrio 8 mm diámetro.
- Tamiz N°200.
- Desecador.
- Papel filtro N°2.
- Balanza con aproximación a 0.01gr.
- Solución de azul de metileno.
- Agitador magnético.

Procedimiento

Secar una muestra representativa a una temperatura que no exceda los $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ luego obtener 10g de material pasante del tamiz N°200. Ingresar la muestra de suelo a un vaso de 250ml y saturamos con 30ml de agua destilada y batir con el agitador o manualmente hasta tener una lechada.

Agregar con la bureta a la lechada de suelo 0.5ml de solución de Azul de metileno y agitar por 1min. Sacar con la varilla agitadora de vidrio una gota de lechada y dejarla caer sobre el papel filtro.

Se observa la gota en el papel filtro. Si no sea formado alrededor de la gota un anillo o aureola azul, se continúa el ensayo adicionando a la lechada de suelo incrementos de 0.5 ml de solución de Azul de metileno, agitando durante un min para cada incremento realizado de nuevo la prueba en el papel filtro hasta que se observe el aro azul alrededor de la gota.

Después de alcanzar este punto se continúa agitando durante 5min y se repite la prueba en el papel filtro, como método de confirmación. Si se continúa presentando el aro azul. Se da por terminada la titulación y se procede a realizar el cálculo de Valor de Azul. Si, por el contrario, desaparece el aro, se debe continuar con la titulación.

$$V_A = \frac{C \cdot V}{W}$$

Ecuación n.º 9. Valor de azul de metileno

Dónde:

VA = Valor de Azul de metileno en mg de azul por gramo de material seco pasa el tamiz N°200

C=Concentración de la solución de Azul de Metileno, en mg de azul por ml de solución

V = ml de solución de Azul de Metileno requerida en la titulación

W = gramos de material seco utilizado en la prueba.

Ensayos al ligante asfáltico

2.4.4.1.10. Viscosidad Cinemática

(ASTM D-2170 / AASHTO T201 / MTC E 310)

Equipos

- Viscosímetro Cinemático.
- Termómetro.
- Agua destilada, cuando se realiza el baño para determinaciones a 60°C.
- Aceite blanco USP para determinaciones a 135°C.
- Cronómetro.

Procedimiento

Calentar una muestra de cemento asfáltico, evitando el sobrecalentamiento hasta que llegue a ser lo suficientemente fluida para vaciarla, agitándola para evitar las burbujas de aire y asegurar la uniformidad. Depositar en un envase adecuado o beaker un mínimo de 20 ml, calentar hasta llegar a una temperatura de 135°C ± 5.5°C agitando constantemente para evitar el sobrecalentamiento.

Se prepara el viscosímetro limpio, seco y calibrado, se vierte el cemento asfáltico al tubo de la máquina de viscosidad hasta la primera marca sin que exceda y se deja que permanezca en el baño el tiempo suficiente para alcanzar la temperatura de ensayo, pasado este tiempo se vierte una porción más de cemento asfáltico hasta observar que caiga inmediatamente y no se adiciona más. Se deja descender el cemento asfáltico hasta que llegue a una marca inferior para medir el tiempo con ayuda de un cronómetro en segundos. Se mide el tiempo en que tarda el cemento asfáltico en fluir entre las 2 marcas (superior e inferior). Si el tiempo de flujo es menor de 60 segundos escójase un viscosímetro de diámetro capilar más pequeña y repítase la operación.

2.4.4.1.11. Viscosidad Rotacional Brookfield (ASTM D-4402)

Equipos

- Cuerpo de viscosímetro, constituido por un motor eléctrico y un dial de lectura.
- Vástagos intercambiables.
- Baño termostático, para mantener el producto a ensayar a la temperatura de ensayo.
- Soporte, para permitir sostener el aparato y desplazarlo en un plano vertical.
- Vasos, entre 90 y 92 mm de diámetro y 116 a 160 mm de altura.
- Termómetro.

Procedimiento

Lo primero que debe hacerse es centrar el equipo sobre una superficie firme, prender el Thermosel y graduar a la temperatura de ensayo, inmediatamente encender el Viscosímetro, presionar el botón de encendido (ON/OFF) en el panel. Esperar que se estabilice para colocar la muestra, presionar (SELECT SPINDLE), colocar la muestra dentro del Thermosel y la aguja dentro de la muestra para que alcance la temperatura de ensayo.



Figura n.º 21. Viscosímetro Brookfield

Nota: Prendido del equipo hasta llegar a temperatura de ensayo
Elaborado por los Autores

Esperar 5 minutos y luego enroscar la aguja al equipo y encender el Viscosímetro de manera que empiece a girar la aguja y luego de 15 minutos anotar las lecturas de Viscosidad (tomar 3 lecturas por cada temperatura). Luego incrementar la temperatura y proceder de la misma manera, así hasta terminar con la última temperatura. Se trabajaron con las siguientes temperaturas: 135°C, 145°C y 175°C. Luego de terminado el ensayo apagar el equipo retirar la aguja y proceder a limpiar para ensayos posteriores. Con los datos obtenidos del ensayo del Viscosidades (cP), se procede a interpolar datos para así obtener las temperaturas requeridas para así poder realizar los diseños en caliente.



Figura n.º 22. Ensayo de viscosidad Brookfield
Nota: Inicio del ensayo a 135°C
Elaborado por los Autores

La finalidad del ensayo es obtener las temperaturas de mezcla y compactación.

Ensayos a mezclas asfálticas

2.4.4.1.12. Resistencia de Mezclas Bituminosas Método Marshall

(ASTM D-1559 / AASHTO T245 / MTC E 504)

Equipos

- Dispositivo para moldear probetas.
- Extractor de probetas.
- Martillo de compactación.
- Pedestal de compactación.
- Soporte para molde.
- Mordaza y medidor de deformación.
- Prensa.
- Medidor de estabilidad.

- Elementos de calefacción para calentar los materiales.
- Baño de agua.
- Tamices.
- Termómetros blindados.
- Balanzas.
- Guantes para manejar equipos calientes.

Procedimiento

Se prepara una serie de probetas con diferentes contenidos de asfalto (con incrementos de 0.5% en peso, entre ellos), de tal manera se puedan graficar en curvas que indiquen un valor óptimo. Como mínimo se preparan 3 probetas para cada contenido, para cada probeta se necesitan aproximadamente 1.2 kg de agregados.



Figura n.º 23. Pesado de los agregados para diseño
Nota: Mezcla de agregados y asfalto pesados para su mezcla
Elaborado por los Autores

Los agregados se secan hasta peso constante entre 105°C y 110°C y se separan por tamizado en los tamaños deseados. La temperatura a la cual se calienta el cemento asfáltico para las mezclas y para la compactación, se determina en el diagrama de viscosidad.



Figura n.º 24. Mezcla de agregados ya pesados y calientes
Nota: Colocación de agregados a calentar a 150°C para ser chancado
Elaborado por los Autores

En bandejas taradas separadas para cada muestra, se pesan sucesivamente las cantidades de cada porción de agregados, se mezclan en seco los agregados y se forma a continuación un cráter en su centro, se añade la cantidad requerida de asfalto, debiendo estar ambos materiales en ese instante a temperaturas comprendidas dentro de los límites establecidos para el proceso de mezcla. A continuación, se mezclan los materiales, este proceso de mezclado deberá realizarse lo más rápido posible hasta obtener una mezcla completa y homogénea.



Figura n.º 25. Colocación del ligante asfáltico a la mezcla de agregados
Nota: Mezcla de agregado y asfalto en estufa
Elaborado por los Autores

Simultáneamente con la preparación de la mezcla, el conjunto de collar, placa de base y la cara del martillo de compactación se limpian y se calientan, se monta el conjunto de compactación, se coloca un papel filtro en el fondo del molde antes de colocar la muestra. Colóquese toda la mezcla en el molde, golpee vigorosamente con una espátula caliente, 15 veces alrededor y 10 veces al centro, la temperatura de la mezcla antes de la compactación deberá hallarse dentro de los límites de temperatura de compactación.

Ensayo de estabilidad y flujo

Colocar las muestras preparadas con cemento asfáltico a la temperatura especificada para inmersión en un baño de agua durante 30 ó 40 minutos, mantener el baño a $60^{\circ}\text{C} + 1^{\circ}\text{C}$, limpiar las barras guías y las superficies interiores del molde de ensayo antes de la ejecución de este y lubricar la mordaza para que esta se deslice libremente. La temperatura del molde de ensayo debe mantenerse entre 21.1°C y 37.8°C .



Figura n.º 28. Prensa Marshall.

Nota: Colocación de briqueta en la prensa Marshall
Elaborado por los Autores

Retirar la probeta del baño de agua y colocarla centrada en el segmento inferior de la mordaza, montar el segmento superior con el medidor de deformación y el conjunto se situarlo centrado en la prensa.

Colocar el medidor de flujo en su posición de uso sobre una de las barras guía y ajustar a cero, mantener el vástago del medidor de flujo firmemente en contacto con el segmento superior de la mordaza mientras se aplica la carga durante el ensayo.

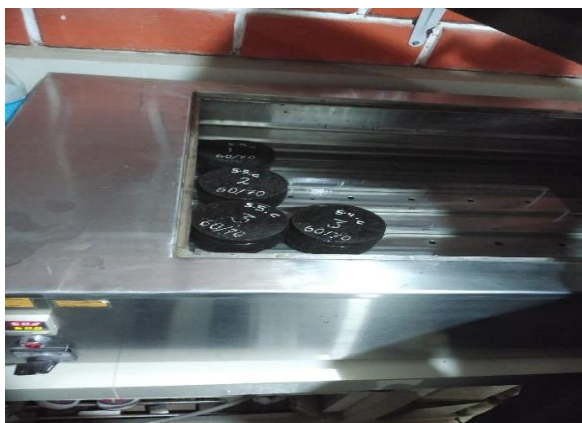


Figura n.º 29. Baño María a 60°C .

Nota: Briquetas sometidas a sus peores condiciones antes del ensayo Marshall
Elaborado por los Autores

Aplicar entonces la carga sobre la probeta hasta que ocurra la falla, es decir cuando se alcanza la máxima carga y anotar este valor máximo de carga como su valor de estabilidad Marshall. Mientras se efectúa el ensayo de estabilidad debe mantenerse el medidor de flujo firme sobre la barra guía, se libera cuando comience a decrecer la carga y anotar la lectura.



Figura n.º 30. Ensayo de Estabilidad y Flujo.

Nota: Briquetas sometidas a ensayo para hallar su resistencia y deformación
Elaborado por los Autores

Este valor expresa la disminución de diámetro que sufre la probeta entre la carga cero y el instante de la rotura.

2.4.4.1.13. Porcentaje de Vacíos de Aire en Mezclas Asfálticas Compactadas

(ASTM D-3203 / MTC E 505)

Procedimiento

Para mezclas asfálticas densas. Se determina el peso específico aparente de la mezcla compactada mediante la norma MTC E 514. Se determina el peso específico teórico máximo mediante la norma MTC E 508.

Para mezclas asfálticas abiertas. Se determina el peso unitario de una probeta, conformada en forma regular, de una mezcla asfáltica compactada, a partir de su peso seco (g) y de su volumen (cm³). Mídase la altura del espécimen con especial cuidado y precisión; así mismo, mídase su diámetro en 4 sitios diferentes y calcúlese su promedio, calcúlese el volumen de la muestra con base en la altura promedio y en la medida del diámetro. Se convierte el peso unitario en peso específico aparente, dividiéndolo entre el peso unitario del agua a 25°C. Determinése el peso específico teórico máximo mediante la norma MTC E 508.

Cálculos

Determinar el porcentaje de vacíos utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ vacíos con aire} = 100 * \left(1 - \frac{\text{peso específico aparente}}{\text{Peso específico teórico máximo}} \right)$$

Ecuación n.º 10. Porcentaje de vacíos de aire

2.4.4.1.14. Peso Específico Teórico Máximo (Rice)

(ASTM D-2041 / AASHTO T209 / MTC E 508)

Equipos

- a) Recipiente, se describen cuatro variantes de la técnica de saturación al vacío, empleando recipientes de diferentes tamaños y de diseño funcional distinto:
 - Tipo A.- una taza de vidrio, plástico o de metal con una capacidad de por lo menos 2000ml.
 - Tipo B.- un frasco volumétrico con una capacidad de por lo menos 2000ml.
 - Tipo C.- un picnómetro de pared gruesa de vidrio de tamaño intermedio que tenga una capacidad de aproximadamente de 4000ml.
 - Tipo D.- un picnómetro de plástico de tamaño grande que tenga una capacidad de por lo menos 4000ml.
- b) Balanza.
- c) Bomba de vacío.
- d) Manómetro o medidor de vacío.

Procedimiento

Separar las partículas de la muestra teniendo cuidado de no fracturar las partículas minerales, si la mezcla no está suficientemente floja para separarla manualmente, colocarla en una cubeta grande y plana y calentarla en un horno hasta que pueda manipularse.



Figura n.º 31. Mezcla fría para ensayo RICE.

Nota: Proceso de enfriado de mezcla para realizar el Rice
Elaborado por los Autores

Enfriar la muestra hasta la temperatura ambiente, colocarla en un recipiente y pesar, designar este peso como A, agregar agua suficiente aproximadamente a 25°C para cubrir la muestra. Remover el aire atrapado sometiendo todos los contenidos a un vacío parcial de 30 mm de Hg (4 kPa) o menor de presión absoluta, durante un periodo de 5 a 15 minutos.



Figura n.º 32. Extracción de aire atrapado a 30 mmHg.
Nota: Proceso de eliminación del aire atrapado por 15 minutos
Elaborado por los Autores

Agitar el recipiente con los contenidos, ya sea continuamente mediante un dispositivo mecánico o manualmente mediante agitación vigorosa, a intervalos de alrededor de dos minutos.



Figura n.º 33. Ensayo RICE.
Nota: Ejecución del ensayo de peso específico teórico máximo
Elaborado por los Autores

Inmediatamente después de la remoción del aire atrapado, proceder a completar con agua destilada a 25°C la muestra depositada en el recipiente, enrasar y pesar, llámese a este peso como C.

Cálculos

Calcúlese el peso específico de la muestra en la siguiente forma:

$$\text{Peso específico} = \frac{A}{(B - (C - A))}$$

Ecuación n.º 11. Peso específico teórico máximo

Donde:

A = peso de la muestra seca al aire (g).

B = peso del recipiente + agua destilada (g).

C = peso del recipiente lleno con agua y muestra a 25°C (g).

2.4.4.1.15. Peso Específico y Peso Unitario de Mezclas Asfálticas

(ASTM D-2726 / MTC E 514)

Equipos

- Balanza con precisión a 0.1g, deberá estar provista de un dispositivo de suspensión adecuado que permita pesar el espécimen, cuando está suspendido del centro del platillo de la balanza.
- Baño de agua.

Procedimiento

Los especímenes para ensayo pueden provenir de mezclas asfálticas compactadas en el laboratorio o de pavimentos asfálticos construidos, deberán estar libres de materiales extraños tales como los de las capas de sello, o de liga, materiales de fundación, papeles u hojas.



Figura n.º 34. Identificación de briquetas para peso específico.
Nota: Proceso de limado de aristas e identificación de briquetas
Elaborado por los Autores

Pesar el espécimen después de que haya permanecido al aire a temperatura ambiente, por lo menos durante una hora llámese A, a este peso. Sumergir el espécimen en un baño con agua a 25°C entre 3 y 5 minutos y pesar luego en el agua, llamar a este peso como C. Secar rápidamente la superficie del espécimen con una toalla húmeda y pesar luego en el aire, llamar B a este peso.



Figura n.º 35. Obtención del peso sumergido.
Nota: Briqueta saturada para peso sumergido
Elaborado por los Autores

Cálculos

Calcular el peso específico aparente del espécimen en la siguiente forma:

$$\text{Peso específico aparente} = A / (B - C)$$

Ecuación n.º 12. Peso específico aparente

Donde:

A = peso del espécimen seco en el aire (g).

B = peso en el aire del espécimen saturado con superficie seca (g).

C = peso del espécimen en agua (g).

Calcular el peso unitario del espécimen así:

$$\text{Peso unitario} = \text{peso específico aparente} * 0.997$$

Ecuación n.º 13. Peso unitario

Donde:

0.997 = peso unitario del agua en g/cm³ (factor de corrección: 1.000).

2.4.4.2. Del Objetivo 2 y 3:

Para el desarrollo del objetivo 2 y 3 se realizó el ensayo de Hamburg Wheel – Track para poder evaluar la respuesta de ambas mezclas asfálticas tanto en su desempeño al ahuellamiento bajo condiciones de humedad como su resistencia a la deformación permanente, se desarrolla el ensayo a continuación:

Ensayos de desempeño

2.4.4.2.1. Hamburg Wheel – Track (AASHTO T 324)

Alcance

Mediante el método AASHTO T 324, podemos obtener resultados de Resistencia a la Deformación y susceptibilidad por humedad de una mezclas asfáltica flexible, el equipo de Rueda de Hamburgo consta de una Rueda de Acero que oscila encima de la probeta o testigo a la vez que dicho testigo está sumergido en una cámara de agua a temperatura constante de 50°C. Para el caso de nuestro experimento se prepararon probetas cilíndricas mediante el compactador giratorio Superpave, estos testigos tienen las siguientes medidas: 15.0 cm de diámetro y 6.2 cm de espesor.

Importancia y aplicación

Tiene mucha importancia este método ya que mide la Deformación Permanente, la cual está constituido por la Resistencia a la Deformación y la Susceptibilidad a la Humedad en cualquier tipo de mezclas ya sea convencional o modificada. Existen fallas prematuras y es debido a una estructura interna débil de la mezcla asfáltica ocasionando fallas en el pavimento, este método puede predecir si la mezcla asfáltica llegara al tiempo para la que fue diseñada. La resistencia a la deformación está definida por la profundidad que deja el paso de la rueda de acero mediante las repetidas pasadas, determinando la falla en la probeta.

Ahora con respecto a la falla por humedad es analizado mediante la curva que realiza las repetidas pasadas que hace la rueda, la cual se registra mediante los valores que apunta cada sensor, como se dijo anteriormente está sometido el testigo al sumergimiento en agua temperada constante.

Equipos y Herramientas

- Máquina de rueda cargada de Hamburgo.
- Control de sistema de temperatura.
- Sistema de medición de huella.
- Contador de paso de rueda.
- Sistema de montaje del espécimen de losa.

- Sistema de montaje de espécimen cilíndrico.
- Compactador de amasado lineal hidráulico.
- Compactador Giratorio electromecánico.
- Sierra.

Método de Prueba

Preparación del equipo

Primero debemos prender el aparato y la computadora para iniciar el programa, luego verificamos que el nivel del agua sea el correcto para cubrir la probeta que será ensayada, por último se programa el equipo para que cuando llegue a los 50°C comience el ensayo. Debe tener una tolerancia de temperatura de ± 1 °C. Este parámetro es considerado por el fabricante.

Preparación del espécimen

Testigos en laboratorio

Se procede alistando 04 probetas cilíndricas, de las cuales 02 serán para un tipo de mezcla convencional y otras 02 para la mezcla modificada, los testigos deben tener 15 cm de diámetro. Estas probetas deben cumplir una condición, estar entre 6.0% hasta 8.0% de vacíos. El espesor del testigo debe ser similar al molde donde será colocado para la prueba, pero además debemos considerar que por lo menos el tamaño nominal del agregado, mediante este ensayo se permiten testigos entre 3.8 cm. hasta 10.0 cm de espesor.



Figura n.º 36. Molde con muestra en el compactador giratorio Superpave.
Nota: Proceso de compactación buscado vacíos entre 6.0% - 8.0%
Elaborado por los Autores

Con el compactador giratorio Superpave preparamos las muestras que serán utilizados para realizar el ensayo de Rueda de Hamburgo, considerando que la mezcla asfáltica debe tener los vacíos de acuerdo a los parámetros que exige el ensayo.



Figura n.º 37. Briqueta compactada

Nota: Muestra compactada en el compactador superpave terminada
Elaborado por los Autores

Hallando de valor de los vacíos

Para hallar los vacíos es necesario saber el valor de la Gravedad Especifica Bruta y Densidad Relativa, mediante cálculos con estos datos se determinan los vacíos.



Figura n.º 38. Contenido de vacíos.

Nota: Comprobación de los vacíos entre 6.0% - 8.0%
Elaborado por los Autores

En caso de conseguir los vacíos según los parámetros que exige el ensayo debemos repetir el procedimiento hallando nuevos valores de Densidades mediante los métodos ya descritos. Una vez que tenemos los resultados satisfactorios se preparan los moldes para ser montados en máquina de Rueda de Hamburgo.

Ejecución de la prueba

Colocación de los testigos en la máquina de HWT

Como se pueden apreciar en las fotografías el testigo debe estar preparado de tal forma que encaje bien en los moldes de polietileno, previamente se realiza un corte en ambos testigos a ensayar para luego para unirlos en uno de sus lados.

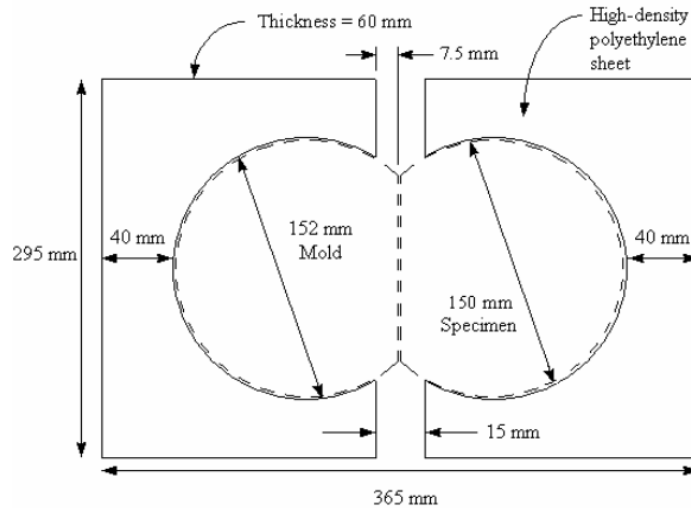


Figura n.º 39. Dimensiones de moldes de polietileno de alta densidad. Adaptado de "Hamburg Wheel Tracking (HWT) Test, 2019". Recuperado de <https://www.ltrc.lsu.edu/asphalt/pdf/Hamburg%20Wheel%20Tracking%20Test.pdf>

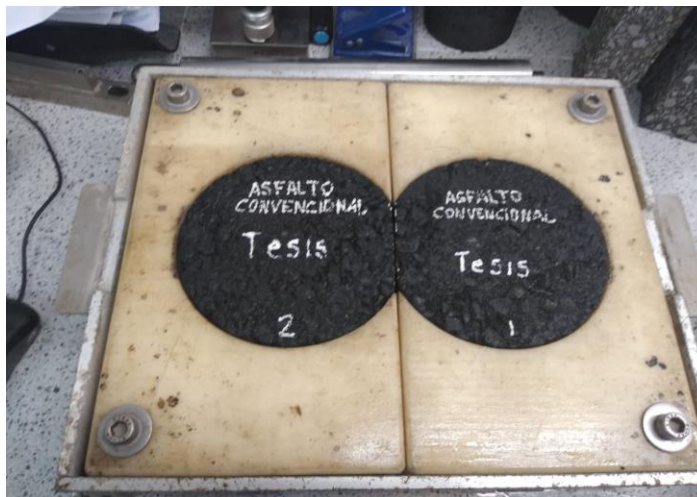


Figura n.º 40. Montaje de briquetas asfalto convencional
 Nota: Proceso de colocación de briquetas en los moldes para ensayar
 Elaborado por los Autores

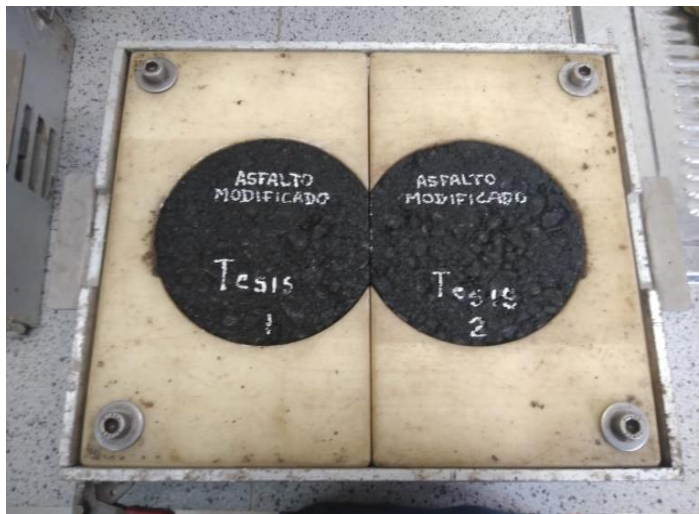


Figura n.º 41. Montaje de briquetas asfalto modificado.
Nota: Proceso de colocación de briquetas en los moldes para ensayar
Elaborado por los Autores

Dependiendo del fabricante se puede utilizar otro tipo de material que no sea el polietileno, pero este material si debe cumplir en soportar al menos 890N (220lb) para que sufra ningún tipo de falla.

Procedimiento

De acuerdo al ensayo la mezcla asfáltica puede ser realizada en laboratorio o puede ser extraída de la carpeta asfáltica cortada en bloque, luego estando en la maquina Hamburg Wheel Track la cual cuenta con una rueda de acero de peso aproximado de 71 Kg, este accesorio pasara repetidas veces por el testigo, un valor de 20,000 pasadas que se programan en el software de la maquina Hamburg Wheel Track. Previamente en la cámara donde se colocara el testigo se coloca agua temperada a 50°C. La máquina Hamburg Wheel Track tiene varios sensores los cuales están midiendo la deformación del testigo y todos esos datos van al software que al final dará un reporte y el grafico de deformación.

De acuerdo a los datos que entrega la maquina Hamburg Wheel Track, se analizan los valores, en algunos casos se presentan curvas de deformación, donde se pueden graficar pendientes de deformación y pendiente de desprendimiento, estas pendientes se intersectan en un punto llamado Punto de Inflexión.

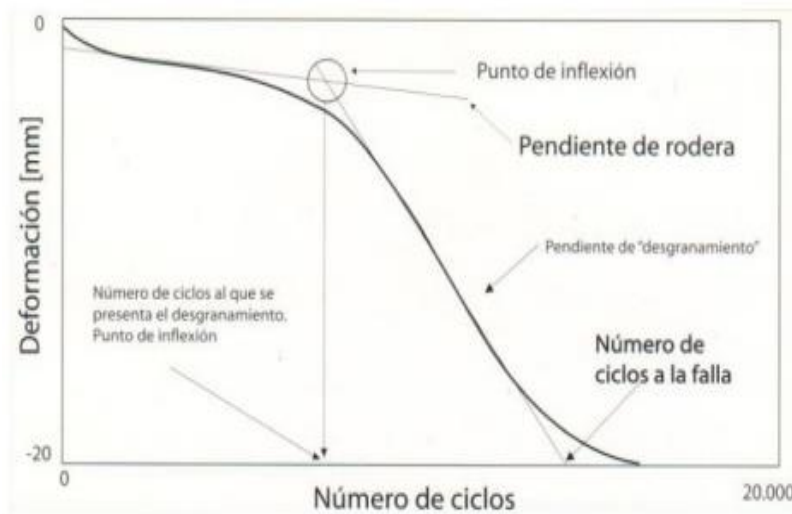


Figura n.º 42. Gráfica esquemática de deformación por susceptibilidad a la humedad. Adaptado de "Prueba de Desempeño en Diferentes Mezclas Asfálticas, 2016". Recuperado de <http://entretextos.leon.uia.mx/num/24/PDF/ENT24-9.pdf>

Ejecución del ensayo

El primer paso es cargar información del cliente o proyecto para su identificación al software, luego se calibran los sensores del equipo Hamburg Wheel Track, para las lecturas como el espesor o profundidad, la temperatura del agua y el número de pasadas que tiene que dar la rueda de acero encima del testigo. La máquina Hamburg Wheel Track no procede con el ensayo hasta no tener todos los procesos definidos, por ejemplo si el agua del tanque no llegara a la temperatura de 50°C no comenzaría con la prueba. Luego la máquina también tiene condiciones sobre la deformación, la primera es que la rueda de acero debe recorrer 20,000 pasadas sobre el testigo una vez llegado a las pasadas requeridas el equipo Hamburg Wheel Track se detiene, la segunda condición es que los sensores de profundidad advierten llegar a los 12.5 mm el equipo Hamburg Wheel Track también se detiene. Se deben tomar las siguientes precauciones, una de ellas es que las muestras no deben estar sumergidas por más de 60 ±5 min. Antes de iniciar la prueba, otra condición es que la rueda de acero no debe estar más de 5 minutos haciendo contacto con el testigo. Todos los datos registrados por las pasadas repetidas de la rueda serán registradas en el software el cual realizará un gráfico de Deformación versus Número de pasadas. Hay que asegurar que el LVDT pueda medir entre 10 y 18 mm y ajustar si es necesario para obtener esta lectura.

Al final del ensayo se tendrá que analizar los resultados obtenidos de la prueba.



Figura n.º 43. Colocación de especímenes para ensayo a 50°C.

Nota: Colocación de especímenes en el equipo de Rueda de Hamburgo
Elaborado por los Autores

Iniciar el ensayo. Una vez alcanzado el número de pasadas (20,000 pasadas), el equipo automáticamente se detiene o la otra condición es llegar al valor máximo de profundidad que es de 12.5 mm. Todo el equipo está automatizado.



Figura n.º 44. Ensayo de Hamburg Wheel – Track.

Nota: Dejando listo el equipo para inicio de ensayo
Elaborado por los Autores

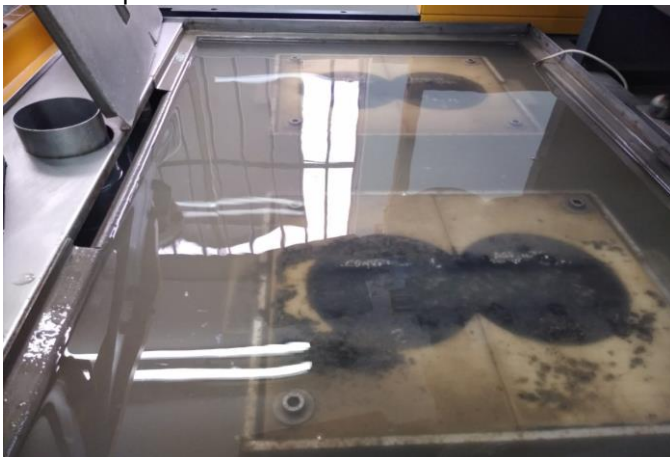


Figura n.º 45. Finalización del ensayo de Hamburg Wheel – Track.

Nota: Luego de terminado el ensayo se nota el desprendimiento en la muestra convencional
Elaborado por los Autores

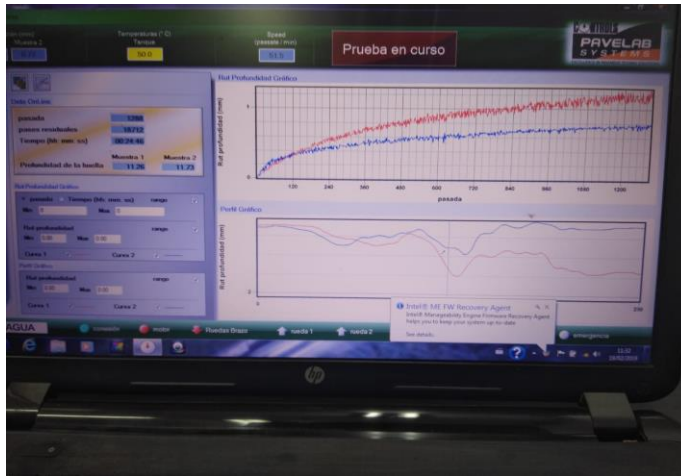


Figura n.º 46. Prueba en curso.

Nota: Vista del software que grafica los datos del ensayo de Rueda de Hamburgo
Elaborado por los Autores



Figura n.º 47. Resultado final visual.

Nota: Vista de las briquetas luego de terminado el ensayo con claras diferencias
Elaborado por los Autores

Cálculos

Definición de un “ensayo”

Para el propósito de este método un ensayo se define como:

- ✓ Dos especímenes de losa de 320 mm de largo por 260 mm de ancho; dos especímenes cilíndricos de 250 mm de diámetro, o dos especímenes cilíndricos de 300 mm de diámetro; cada uno de ellos destinado para una rueda.
- ✓ Cuatro especímenes de 150 mm de diámetro, cortados y agrupados en pares; cada par destinado para una rueda.

El resultado del ensayo se reportará como el valor promedio de ambos especímenes o de ambos pares de especímenes. (Ayala, Delgado, Guzmán y Salazar, 2018).

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Los estudios realizados nos han motivado a seguir una nueva tendencia de mejoramiento secuencial de acuerdo nuestra Tesis referente a la comparación entre dos tipos de mezcla, conforme fuimos investigando nos dimos cuenta que las Especificaciones Generales para Construcción – EG-2013, contempla en la sección 423 – Pavimento de concreto asfáltico en caliente y en la sección 431 – Cemento asfáltico con Polímeros. Quiere decir que las Especificaciones Generales para la Construcción solo contemplan control y parámetros para el Cemento Asfáltico Modificado con Polímeros, pero no considera un control de la Mezcla Modificada con Polímeros.

A continuación, presentaremos los requerimientos a los agregados grueso y fino, así como también los requerimientos a las mezclas asfálticas:

Tabla n.º 18.

Requerimientos para los Agregados Gruesos y Finos

Requerimientos para los agregados gruesos					
Ensayos	Norma	Requerimiento		Resultados	
		Altitud (msnm)			
		≤ 3000	> 3000		
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.	4.89	Cumple
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	35% máx.	10.8	Cumple
Adherencia	MTC E 517	95	95	95	Cumple
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% min.	35% min.	59.33	Cumple
Partículas Chatas y Alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.	4.5	Cumple
Caras Fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70	98.6/90	Cumple
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.	0.124	Cumple
Absorción	MTC E 206	1.0% máx.	1.0% máx.	0.93	Cumple

Nota: Adaptado del Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013). Recuperado de http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4955.pdf

Tabla n.º 19.

Requerimiento para los agregados finos

Requerimiento para los agregados finos					
Equivalente de Arena	MTC E 114	60% min.	70% min.	68	Cumple
Angularidad del agregado Fino	MTC E 222	30%min.	40% min.	41.8	Cumple
Azul de metileno	AASHTO TP 57	8 máx.	8 máx.		
Índice de Plasticidad (Nº 40)	MTC E 111	NP	NP	N.P.	Cumple
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-	18% máx.	7.23	Cumple
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35 min.	35 min.	58	Cumple
Índice de Plasticidad (Nº200)	MTC E 111	4 máx.	NP	N.P.	Cumple
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.	0.446	Cumple
Absorción	MTC E 205	1.0% máx.	1.0% máx.	0.8	Cumple

Nota: Adaptado del Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013). Recuperado de http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4955.pdf

Tabla n.º 20.

Requisitos para mezclas asfálticas

Parámetros de diseño	MTC			RESULTADOS DE AMBOS DISEÑOS	
	MEZCLAS CONVENCIONALES			CONVENCIONAL	MODIFICADO
	Clase de Mezcla			60/70	BETUTEC IC
	A	B	C	A	A
Marshall MTC E 504					
Compactación, número de golpes por lado	75	50	35	75	75
Estabilidad (mínimo)	8.15 kN	5.44 kN	4.53 kN	13.46 kN	19.26 kN
Flujo 0.01" (0.25 mm)	8 - 14	8 - 16	8 - 20	13.65	13.12
Porcentaje de vacíos con aire (MTC E 505)	3 - 5	3 - 5	3 - 5	3.78	3.89
Vacíos en el agregado Mineral VMA	De acuerdo a el tamaño del agregado			14.66	14.79
Inmersión - Compresión (MTC E 518)					
• Resistencia a la Compresión Mpa min.	2.1	2.1	1.4		
• Resistencia Retenida % (min)	75	75	75		
Relación Polvo – Asfalto	0.6 – 1.3	0.6 – 1.3	0.6 – 1.3	1.08	1.11
Relación Estabilidad / flujo (kg/cm)	1700 - 4000			3962	-----
Resistencia Conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	80 min.				
Adherencia (Agregado grueso) MTC E 517	95			95	95
Adherencia (Agregado fino) MTC E 220	4 min.			7	8
Adherencia (mezcla) MTC E 521	95				

Nota: Adaptado del Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013). Recuperado de http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4955.pdf

La importancia en aplicar esta formulación para la elaboración de mezclas asfálticas muestra resultados sorprendentes, y esto es muy importante ya que los parámetros de una mezcla convencional no son iguales a una mezcla modificada con polímeros. Esto ocasiona discrepancias en obra entre el Contratista y La Supervisión encargada de controlar de acuerdo a las Especificaciones Técnicas.

3.1. Resultados del Objetivo específico 1:

Al preparar nuevos diseños de mezclas realizados en esta investigación mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS Betutec IC y mezcla asfáltica convencional 60/70 con el propósito de comparar cual nos ofrecería mejor comportamiento mecánico se obtuvieron las Estabilidades, Flujo, Óptimos contenidos de asfalto y demás propiedades de la mezcla, ambos diseños cumplieron con los parámetros y características de acuerdo al Manual de carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013.

3.1.1. Mezcla Asfáltica Modificada con Polímeros SBS Betutec IC

Los materiales utilizados en la elaboración de la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS Betutec IC son:

Agregados:

- Piedra Chancada 3/4" – Cantera Rumi – 45%
- Arena Chancada 3/8" – Cantera Rumi – 33%
- Arena Zarandeada 3/8" – Cantera Crushing – 22%

Asfalto:

BETUTEC IC - TDM Asfaltos S.A.C. – 5.3%

Se obtuvieron los siguientes resultados de diseño, cumpliendo con todos los requerimientos:

Tabla n.º 21.

Resumen Marshall Diseño Polímeros

CUADRO RESUMEN DE ENSAYO MARSHALL									
ITEM	*A.C.	DENSIDAD	RICE ASTM D-2041	% VACIOS DE MEZCLA	V.M.A	% VACIOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD	FLUJO	INDICE DE RIGIDEZ
	%	gr/cc		%	%	%	Kg.	mm	Kg/cm
1	4.5	2.371	2.555	7.2	16.0	55.2	1730	3.0	
2	5.0	2.401	2.535	5.3	15.4	65.8	1964	3.3	
3	5.5	2.435	2.515	3.2	14.7	78.5	2058	3.5	
4	6.0	2.452	2.494	1.7	14.5	88.3	1986	3.8	
RESULTADOS DE DISEÑO									
5	5.3	2.421		4.0	15.0	73.3	2038	3.4	
COMPROBACION DE DISEÑO									
6	5.3	2.427	2.525	3.9	14.8	73.7	1964	3.3	
ESPECIFICACIONES TECNICAS									
				3`- 5	14,0 MIN	65 - 75	815 Kg, MIN	2`- 4	

Nota: La tabla nos muestra la corrida de diseño a incrementos de 0.5% en peso de asfalto para poder encontrar el óptimo, resultados de diseño y su respectiva comprobación del óptimo contenido de asfalto hallado.

Elaborado por los Autores

3.1.2. Mezcla Asfáltica Convencional 60/70

Los materiales utilizados en la elaboración de la mezcla asfáltica convencional 60/70 son:

Agregados:

- Piedra Chancada 3/4" – Cantera Rumi – 45%
- Arena Chancada 3/8" – Cantera Rumi – 33%
- Arena Zarandeada 3/8" – Cantera Crushing – 22%

Asfalto:

Convencional 60/70 - TDM Asfaltos S.A.C. – 5.4%

Se obtuvieron los siguientes resultados de diseño, cumpliendo con todos los requerimientos:

Tabla n.º 22.

Resumen Marshall Diseño Convencional

CUADRO RESUMEN DE ENSAYO MARSHALL									
ITEM	*A.C.	DENSIDAD	RICE ASTM D-2041	% VACIOS DE MEZCLA	V.M.A	% VACIOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD	FLUJO	INDICE DE RIGIDEZ
	%	gr/cc		%	%	%	Kg.	mm	Kg/cm
1	4.5	2.361	2.548	7.3	16.4	55.4	1177	3.2	3719
2	5.0	2.397	2.533	5.3	15.5	65.8	1376	3.4	4069
3	5.5	2.433	2.520	3.5	14.8	76.5	1442	3.6	3969
4	6.0	2.453	2.501	1.9	14.5	86.9	1321	3.9	3359
RESULTADOS DE DISEÑO									
5	5.4	2.425		3.8	14.9	74.3	1436	3.6	4022
COMPROBACION DE DISEÑO									
6	5.4	2.433	2.529	3.8	14.7	74.2	1373	3.5	3962
ESPECIFICACIONES TECNICAS									
				3 - 5	14,0 MIN	65 - 75	815 Kg, MIN	2 - 4	1700 - 4000

Nota: La tabla nos muestra la corrida de diseño a incrementos de 0.5% en peso de asfalto para poder encontrar el óptimo, resultados de diseño y su respectiva comprobación del óptimo contenido de asfalto hallado.

Elaborado por los Autores

3.1.3. Cuadro comparativo de los Diseños

A continuación, se observa la comparación de resultados para ambos diseños, mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS Betutec IC y mezcla asfáltica convencional 60/70, con el cual podemos despejar nuestras hipótesis que los valores de estabilidad en el diseño modificado es mayor que la convencional debido a la inclusión de polímeros y que los valores de flujo y óptimo contenido de asfalto las diferencias son mínimas:

Tabla n.º 23.

Resultados de los Diseños de Mezcla

	DISEÑO DE MEZCLA		
	PEN 60/70	BETUTEC IC	TOLERANCIA
NUMERO DE GOLPES	75	75	75
CONTENIDO DE ASFALTO (%)	5.4	5.3	
ESTABILIDAD (kgf)	1373	1964	831 (mínimo)
FLUJO (mm)	3.47	3.33	2 - 4
PESO ESPECIFICO BULK	2.433	2.427	
RICE	2.529	2.525	
PORCENTAJE DE VACIOS	3.8	3.9	3 - 5
V.M.A	14.7	14.8	14
RELACION POLVO/ASFALTO	1.08	1.11	0.6 - 1.3

Nota: La tabla nos muestra los resultados de ambos diseños de mezcla y la comparación de valores de los mismos.

Elaborado por: los Autores

Los valores graficados de Estabilidad para ambas mezclas se muestran a continuación:

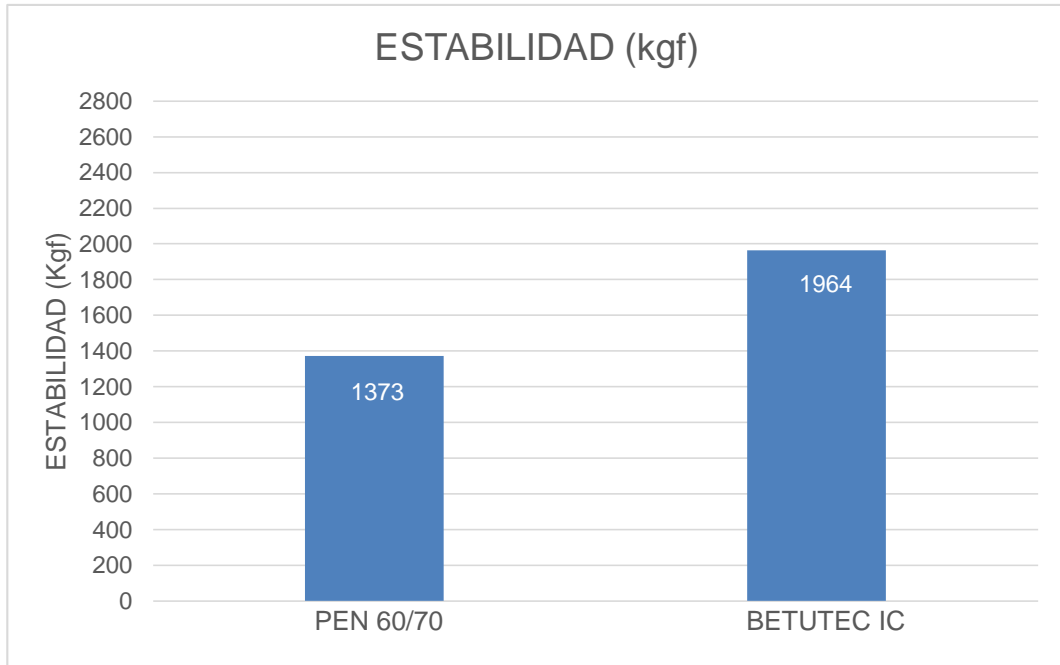


Figura n.º 48. Estabilidad de las Mezclas Asfálticas
 Elaborado por los Autores

Los valores graficados de Flujo para ambas mezclas se muestran a continuación:

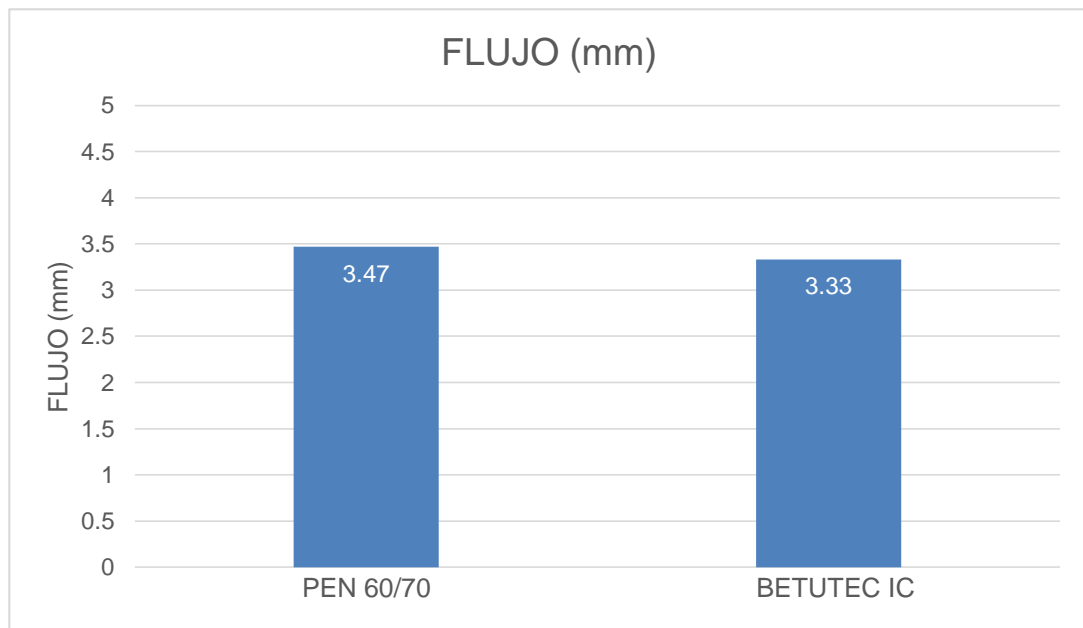


Figura n.º 49. Flujo de las Mezclas Asfálticas.
 Elaborado por los Autores

Los valores graficados de los Óptimos contenido de asfalto para ambas mezclas se muestran a continuación:

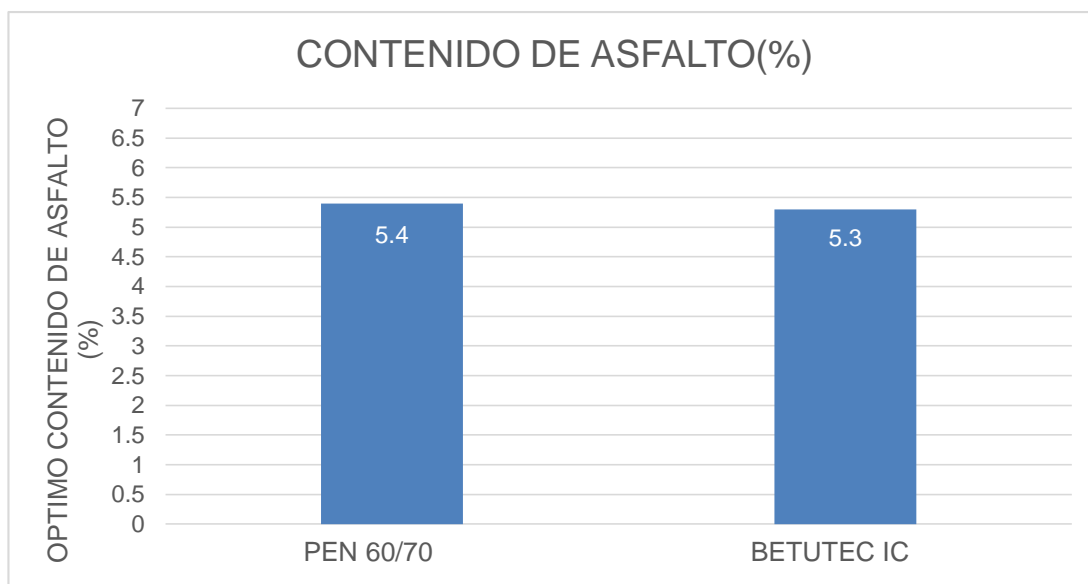


Figura n.º 50. Óptimo Contenido de Asfalto de las Mezclas Asfálticas
 Elaborado por los Autores

3.2. Resultados del Objetivo específico 2 y 3:

De los ensayos de Hamburg Wheel Track a la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS Betutec IC y la mezcla asfáltica convencional 60/70, se obtuvieron resultados de Resistencia a la Deformación Permanente en términos de profundidad de ahuellamiento, que aunque ambas mezclas cumplieron con las 20000 pasadas establecidas en el ensayo hay una clara diferencia en la profundidad de huella en donde la mezcla modificada Betutec IC presenta una mayor resistencia a la deformación en comparación a la mezcla convencional.

3.2.1. Mezcla Asfáltica Modificada con Polímeros SBS Betutec IC

Para el ensayo a la mezcla modificada se trabajó con su Densidad Máxima Teórica de diseño 2.525, para obtener el peso exacto de los especímenes a moldear en el compactador giratorio Superpave, con el cual se obtuvo un porcentaje de vacíos de 6.70%.

A continuación el cálculo del porcentaje de vacíos para verificar que estén entre 6.0% a 8.0% los especímenes moldeados para el ensayo de Hamburg Wheel Track:

Tabla n.º 24.

Porcentaje de vacíos mezcla modificada

CALCULO DE % DE VACIOS	1	2
PESO DE LA BRIQUETA EN EL AIRE (g)	2439.3	2434.5
PESO DE LA BRIQUETA EN EL AIRE SS (g)	2452.3	2442.7
PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (gr)	1419.7	1407.5
VOLUMEN DE LA BRIQUETA (10-11) (g)	1032.6	1035.2
PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA (9/12)	2.362	2.352
PESO UNITARIO DE LA BRIQUETA A 25°C (g/cm³)- ASTM D 2726	2.355	2.345
PESO ESPECIFICO MÁXIMO -ASTM D 2041	2.525	2.525
% VACIOS =100*(15-14*)/15 - ASTM D 3203	6.5	6.9
	6.7	

Nota: La tabla nos muestra la comprobación del porcentaje de vacíos de los especímenes el cual debe estar entre 6.0% a 8.0% para poder realizar el ensayo de Rueda de Hamburgo. Elaborado por los Autores

Luego de verificados los vacíos se procedió con el ensayo del cual se obtuvo el siguiente gráfico:

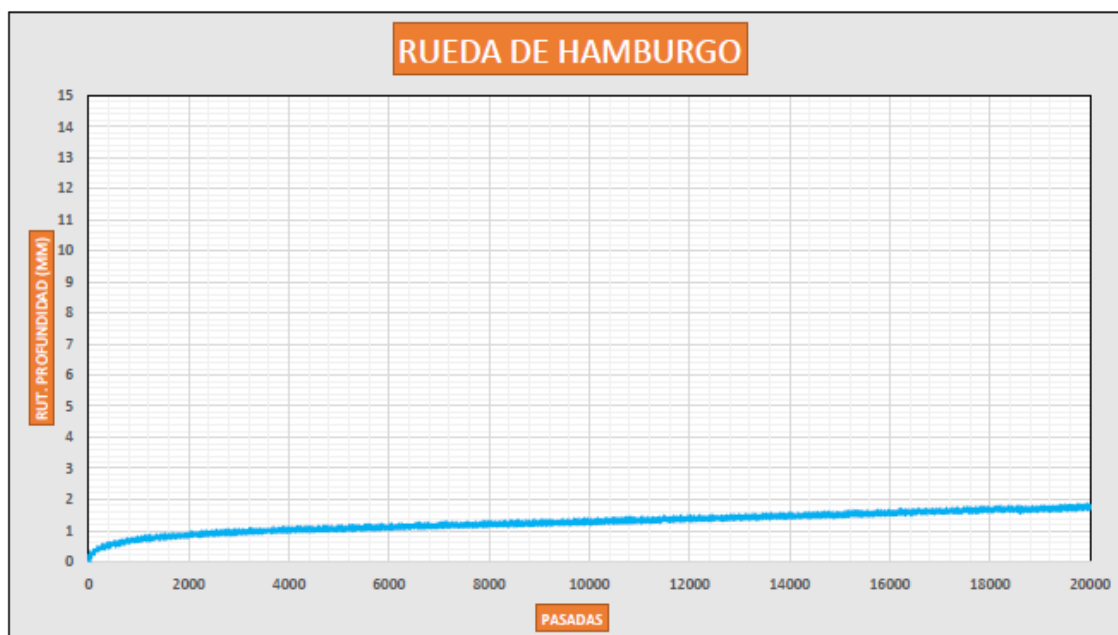


Figura n.º 51. Diagrama de Comportamiento asfalto modificado. Elaborado por los Autores

A continuación se muestran imágenes de las briquetas Betutec IC antes y después del ensayo de Hamburg Wheel Track:



Figura n.º 52. Especímenes de ensayo asfalto modificado.
Nota. Briquetas antes de ensayo de Rueda de Hamburgo
Elaborado por los Autores



Figura n.º 53. Especímenes de ensayo asfalto modificado.
Nota. Briquetas después de ensayo de Rueda de Hamburgo
Elaborado por los Autores



Figura n.º 54. Especímenes de ensayo asfalto modificado.
Elaborado por los Autores

3.2.2. Mezcla Asfáltica Convencional 60/70

Para el ensayo a la mezcla convencional se trabajó con su Densidad Máxima Teórica de diseño 2.529, para obtener el peso exacto de los especímenes a moldear en el compactador giratorio Superpave, con el cual se obtuvo un porcentaje de vacíos de 6.80%.

A continuación el cálculo del porcentaje de vacíos para verificar que estén entre 6.0% a 8.0% los especímenes moldeados para el ensayo de Hamburg Wheel Track:

Tabla n.º 25.

Porcentaje de vacíos mezcla convencional

CALCULO DE % DE VACIOS	1	2
PESO DE LA BRIQUETA EN EL AIRE (g)	2438.7	2435.2
PESO DE LA BRIQUETA EN EL AIRE SS (g)	2444.9	2443.7
PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (gr)	1410.9	1410.1
VOLUMEN DE LA BRIQUETA (10-11) (g)	1034	1033.6
PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA (9/12)	2.359	2.356
PESO UNITARIO DE LA BRIQUETA A 25°C (g/cm³)- ASTM D 2726	2.352	2.349
PESO ESPECIFICO MÁXIMO -ASTM D 2041	2.529	2.529
% VACIOS =100*(15-14*)/15 - ASTM D 3203	6.7	6.8
		6.8

Nota: La tabla nos muestra la comprobación del porcentaje de vacíos de los especímenes el cual debe estar entre 6.0% a 8.0% para poder realizar el ensayo de Rueda de Hamburgo. Elaborado por: los Autores

Luego de verificados los vacíos se procedió con el ensayo del cual se obtuvo el siguiente gráfico:

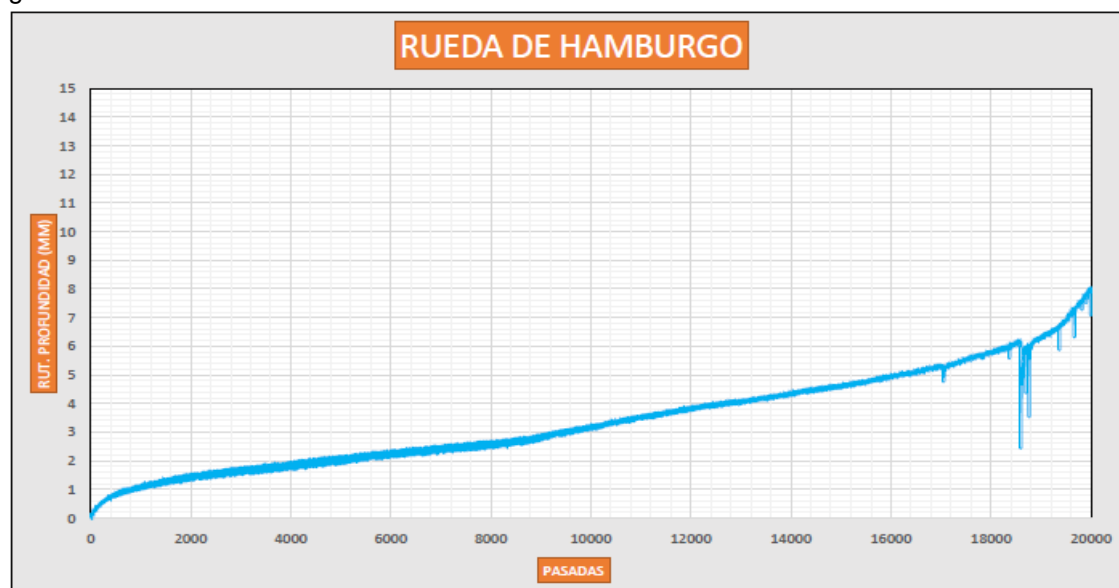


Figura n.º 55. Diagrama de Comportamiento asfalto convencional
Elaborado por los Autores

A continuación se muestran imágenes de las briquetas Pen 60/70 antes y después del ensayo de Hamburg Wheel Track :



Figura n.º 56. Especímenes de ensayo asfalto convencional.
Nota. Briquetas antes de ensayo de Rueda de Hamburgo
Elaborado por los Autores



Figura n.º 57. Especímenes de ensayo asfalto convencional
Nota. Briquetas después de ensayo de Rueda de Hamburgo
Elaborado por los Autores



Figura n.º 58. Especímenes de ensayo asfalto convencional
Elaborado por los Autores

3.2.3. Cuadro comparativo de los ensayos de Hamburgo

A continuación se observa la comparación de resultados del ensayo de Resistencia a la Deformación Permanente para ambos diseños, mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS Betutec IC y mezcla asfáltica convencional 60/70, con el cual podemos comprobar que la mezcla modificada nos ofrece un mejor desempeño al ahuellamiento bajo condiciones de humedad y una mejor resistencia a la deformación permanente en comparación a la mezcla asfáltica convencional 60/70. Los resultados del ensayo se muestran a continuación:

Tabla n.º 26.

Resultados de los ensayos de Rueda de Hamburgo

RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN PERMANENTE			
DATOS DE ENSAYO	PEN 60/70	BETUTEC IC	TOLERANCIA
PIEDRA CHANCADA	45.00%	45.00%	
ARENA CHANCADA	33.00%	33.00%	
ARENA ZARANDEADA	22.00%	22.00%	
OPTIMO DE ASFALTO	5.40%	5.30%	
RICE (Kg/cm ³)	2.529	2.525	
% DE VACIOS	6.80%	6.70%	6.0% - 8.0%
Tº DE ENSAYO	50.0°C	50.0°C	
Nº MAXIMO PASADAS	20,000	20,000	
Nº PASADAS RECIBIDAS	20,000	20,000	
PROFUNDIDAD FINAL (mm)	7.77	1.8	<12.5 mm
PUNTO DE INFLEXIÓN	9500 pasadas	No existe	

Nota: La tabla nos muestra los resultados del ensayo de Resistencia a la Deformación Permanente de ambos diseños de mezcla y la comparación de valores de los mismos.
Elaborado por los Autores

Los valores graficados de profundidad de Ahuellamiento para ambas mezclas se muestran a continuación:

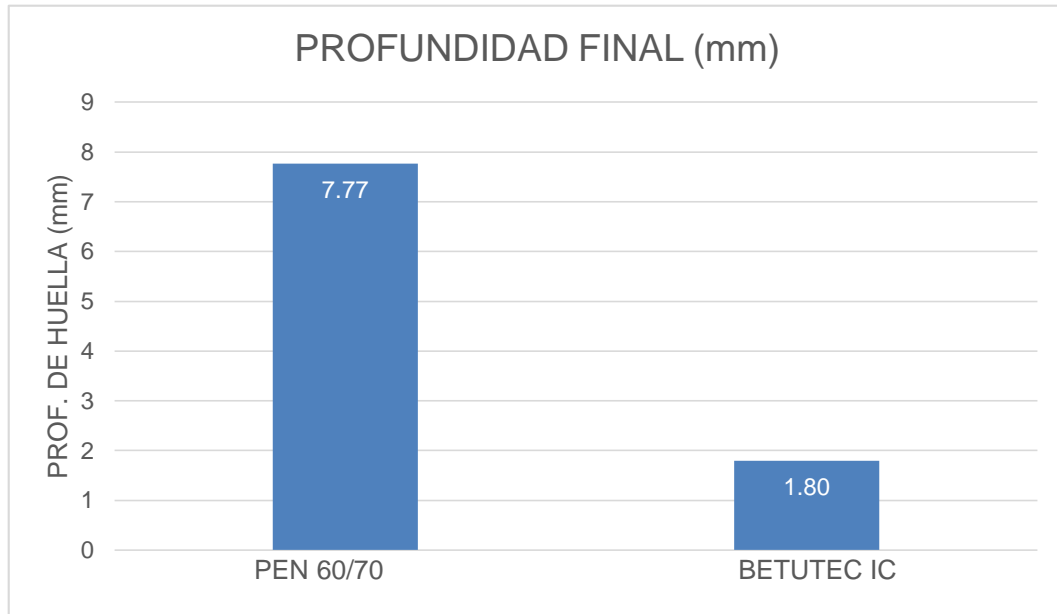


Figura n.º 59. Profundidad de Ahuellamiento.
Elaborado por los Autores



Figura n.º 60. Deformación vs Número de Pasadas.
Nota: Comparativo grafico de resultados de ambas mezclas asfálticas
Elaborado por los Autores

Al margen de los resultados emitidos por la empresa TDM Asfaltos, nosotros elaboramos un gráfico adicional, en donde colocamos ambas curvas de deformación para demostrar el comportamiento de las mezclas en estudio.

Si analizamos la primera curva de deformación que corresponde a la mezcla asfáltica convencional con PEN 60/70 podemos apreciar que presenta dos pendientes bien marcadas, la denominada “pendiente de deformación”, la cual se emplea para evaluar la susceptibilidad al ahuellamiento, la misma que mide la acumulación de deformación permanente. La segunda pendiente llamada “pendiente de humedad”, consiste en evaluar los daños por humedad. Y por último tenemos el punto de Inflexión o punto de descubrimiento, la cual es la intersección entre la pendiente de deformación y la pendiente de humedad, como podemos apreciar hemos obtenido un valor de 9500 números de pasadas. Quiere decir que en este punto comienza el desprendimiento de la capa de cemento asfáltico y los agregados, y se puede ver la pérdida de adherencia.

A pesar de obtener resultados aprobatorios con respecto al ensayo de Rueda de Hamburgo en relación a la resistencia a la deformación, donde el valor de la mezcla asfáltica convencional resultó 7.77 mm y la mezcla asfáltica modificada es 1.80 mm, siendo 12.5 mm el valor Máximo o la otra condición de llegar a las 20000 pasadas. El gráfico nos demuestra que a lo largo del tiempo la mezcla asfáltica modificada tendrá mejor comportamiento al ahuellamiento o a la deformación permanente. Dando mayor durabilidad a la carpeta de rodadura, también menos servicios de mantenimiento a lo largo de su vida útil.

No en todas las mezclas asfálticas se presenta el Punto de Inflexión, como se puede observar en nuestro gráfico la mezcla asfáltica modificada mantiene una deformación permanente constante y tampoco existe desprendimiento del líquido asfáltico con el agregado pétreo. Por consiguiente no tenemos Stripping en la mezcla asfáltica con Polímeros.

Existe otro comportamiento que se puede observar mediante el gráfico, me refiero a la deformación Elástica y la deformación Plástica. Por definición sabemos que una Deformación Elástica es cuando un cuerpo recupera su forma original al retirar el esfuerzo la cual provoca la deformación, en el caso nuestro se puede apreciar en el gráfico de la mezcla asfáltica convencional que tal comportamiento está entre 0 a 1200 pasadas. Y en el caso del gráfico que corresponde a la mezcla asfáltica con polímeros estaría entre 0 a 2000 pasadas. Ahora para la Deformación Plástica, se define como aquel cuerpo que no recupera su forma original provocada por una fuerza aplicada. Para nuestro caso, en el gráfico de la mezcla asfáltica convencional comienza a partir de 1200 hasta 9500 pasadas, se presenta este caso a partir de 9500 pasadas el punto de ruptura, se puede demostrar con el desprendimiento del líquido asfáltico y los agregados. Para el caso de la mezcla asfáltica con polímeros se puede decir que el comienzo es a partir de las 2000 pasadas hasta las 20000 pasadas.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

4.1.1. Del Objetivo específico 1:

De la investigación se considera que obtener resultados satisfactorios en el diseño de Marshall no garantiza que el desempeño de la mezcla asfáltica también sea satisfactorio. Sabemos que el Método Marshall es aceptado en nuestro medio, el cual, nos da proporciones volumétricas de los componentes de la mezcla, los cuales nos brinda porcentajes convenientes para una mezcla asfáltica durable, debemos considerar que la compactación con este método no representa lo realizado en campo y que los parámetros tales como: Estabilidad y Flujo, no estima en forma adecuada la resistencia al esfuerzo cortante de la mezcla.

4.1.2. Del Objetivo específico 2:

Por otro lado, las pruebas de desempeño (Rueda Cargada de Hamburgo), nos brinda una estimación más apropiada del comportamiento de una mezcla asfáltica, este ensayo simula las condiciones reales de servicio. Ahora sin importar el tipo de diseño que se utilice para realizar una mezcla asfáltica, la prueba de desempeño tiene como principio, evaluar el comportamiento de la mezcla. De esta forma se garantiza el diseño y la construcción del pavimento que sean adecuados para la solicitud de tránsito, temperatura y humedad, quiere decir que el usuario quedara conforme con la calidad y comodidad de la carpeta asfáltica. De acuerdo al análisis comparativo de las 02 mezcla en estudio, en lo que respecta a la rueda cargada de Hamburgo, se podría considerar como una prueba para aceptar o rechazar en la parte de control de calidad.

4.1.3. Del Objetivo específico 3:

Dentro de la comparación realizada entre la mezcla modificada con polímeros SBS Betutec IC y la mezcla convencional 60/70, se observó el aporte que tienen los polímeros con respecto a la resistencia a la deformación permanente. Por ende la mezcla convencional dio resultados de deformación permanente más altos en comparación al modificado. Es importante resaltar que tiene mucha influencia la calidad de los agregados en los resultados que se puedan obtener ya que podemos obtener valores de densidades aceptables. Otro punto importante también es la gradación que logramos conseguir, el esqueleto es más resistente, lo cual, nos dio una mejor estabilidad y resistencia a la mezcla asfáltica. El óptimo de líquido asfáltico que se logra mediante el diseño es importante para lograr embeber bien los agregados y darle una mejor durabilidad a la mezcla asfáltica.

4.2. Conclusiones

Conclusiones Generales

Se demostró lo planteado en la hipótesis general, que la utilización de una mezcla asfáltica modificada con polímeros nos ofrecerá un mejor comportamiento mecánico comparado con la mezcla convencional 60/70, mejorando el desempeño del pavimento y por consiguiente alargando su vida útil. Debido a los resultados obtenidos en los diseños tanto de estabilidad como flujo, la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS Betutec IC demostró tener un mejor comportamiento mecánico que la mezcla asfáltica convencional 60/70, con respecto a los resultados de la rueda de Hamburgo nos demuestra que la mezcla modificada con polímeros SBS Betutec IC presenta un desempeño muy superior respecto a la mezcla convencional 60/70.

Conclusiones Específicas

4.2.1. Del Objetivo 1:

Se concluye que teniendo en cuenta los mismos porcentajes de agregados para ambos diseños obtuvimos los siguientes resultados: El óptimo de líquido asfáltico es de 5.4% para la mezcla asfáltica 60/70 contra 5.3% de la mezcla asfáltica con Betutec IC, siendo mejor el de menor valor; luego tenemos el valor de 1373 Kgf en estabilidad de la mezcla asfáltica 60/70, contra 1964 Kgf en la mezclas asfáltica Betutec IC, el mayor valor de estabilidad se considera mejor. Para la Fluencia el valor fue 3.47 mm en el caso de mezclas asfálticas 60/70 y de 3.33 mm para la mezcla asfáltica Betutec IC, el menor valor es más recomendable. Esto quiere decir que la mezcla asfáltica modificada tiene mejor comportamiento mecánico. Estos datos salieron del Método Marshall.

4.2.2. Del Objetivo 2:

Con respecto al comportamiento de la mezcla bajo condiciones de humedad se concluye que mediante el Método Rueda Cargada de Hamburgo tenemos los siguientes resultados: Obtuvimos mejores resultados de adherencia entre el líquido asfáltico y los agregados con la mezcla asfáltica con Betutec IC, la cual no presentó curva de desprendimiento, en cambio, si se presentó en la mezcla asfáltica 60/70 en donde nos da el punto de Inflexión a 9500 pasadas, quiere decir que en este punto comienza a perder adherencia entre líquido y material pétreo.

4.2.3. Del Objetivo 3:

Por último, con respecto a los resultados de Resistencia a la Deformación, la mezcla asfáltica con Betutec IC, tiene el valor de 1.80 mm, este valor nos indica que prácticamente la deformación es desapercibida y sin deformación, en cambio en la mezcla asfáltica 60/70 el valor obtenido fue de 7.77 mm, este valor nos indica que existe una deformación considerable

y que en poco tiempo se presentarían fallas en el pavimento colocado, como hundimientos y desplazamiento de la carpeta. Se finaliza afirmando que la mezcla asfáltica Betutec IC tiene mejor desempeño a las deformaciones permanentes.

REFERENCIAS

- Aguiar, J. P., Cruz, L. M., Porras, A., Vargas, A. y Loria, L. G. (2015). *Proyecto “Materiales de Desecho como Modificantes de la Mezcla Asfáltica”*, Universidad de Costa Rica, San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica.
- ASTM. (2014). *ASTM. United States: ASTM international.*
- AASHTO. (2008). *AASHTO The voice of transportation.* Washington D.C.: AASHTO.
- Ayala, Y., Delgado, H., Guzmán, D. V. y Salazar, A. Z. (2018). *Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) – Parte 1 para el Cálculo de Volumetría y ensayos de Desempeño, Instituto Mexicano de Transporte, México.*
- Cahuana, P. E. y Limas, H. (2018). *Tesis de Ingeniería Civil “Análisis Comparativo del Comportamiento Mecánico de una Mezcla Asfáltica Modificada con Betutec IC + Aditivo Warmix respecto a la Mezcla Asfáltica Convencional”*, Universidad San Martín de Porres, Lima, Perú.
- Castro, W. A., Rondón, H. A. y Barreto, J. C. (2015). *Artículo de investigación “Evaluación de las Propiedades Reológicas y Térmicas de un Asfalto Convencional y uno Modificado con un Desecho de PEBD”*, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Caldas, Colombia.
- Estrada, V. R. (2017). *Tesis de Ingeniería Civil “Estudio y Análisis de Desempeño de Mezcla Asfáltica Convencional PEN 85/100 Plus y Mezcla Asfáltica Modificada con Polímero Tipo SBS 70-28”*, Universidad Andina del Cusco, Cusco, Perú.
- Hernández, S., Fernández, C. y Baptista, M. (2010). *Metodología de la investigación.* México: McGraw-Hill Interamericana.
- Infante, C. A. y Vásquez, D. H. (2016). *Tesis de Ingeniería Civil “Estudio Comparativo del Método Convencional y Uso de los Polímeros EVA y SBS en la aplicación de Mezclas Asfálticas”*, Universidad Señor de Sipán, Chiclayo, Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013). *Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG – 2013.* Lima, Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016). *Manual de Ensayo de Materiales 2016.* Lima, Perú.
- Moreno, M. A. (2011), *Tesis de Ingeniería Civil “Efecto de la Presencia de Humedad en el Comportamiento de Mezclas Asfálticas sometidas a Ensayos de Rueda de Carga (Norma NLT-173/84)”* en la Universidad de Chile, Santiago de Chile – Chile.
- Norma AASHTO T 324 (2004). *Standard Method of test of Hamburg Wheel-Track Testing of Compacted Hot Mix Asphalt.*

Victoria, C., Ortiz, J. C., Avalos, F. y Castañeda, A. (2015). *Tesis para Doctorado "Modificación de Asfalto con Elastómeros para su Uso en Pavimentos"*, Universidad Autónoma de Coahuila, Coahuila – México.

Villegas, R., Aguiar, J. y Loria, L. (2018). *"Diseño de Mezcla Asfáltica con Materiales de Desecho"*, Universidad de Costa Rica, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica. *Revista Científico Tecnológica Departamento Ingeniería de Obras Civiles* (p. 07).

Fuentes Electrónicas

1. <https://es.scribd.com/document/224223804/2-Deformaciones-Permanentes-en-Mezclas-Asfalticas>
2. <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/11811/capitulo2.pdf>
3. <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/11811/capitulo3.pdf>
4. http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/104588/salamanca_ga.pdf?sequence=3&isAllowed=y
5. https://www.construmatica.com/construpedia/Categor%C3%ADa:Materiales_Bituminosos
6. <http://www.solpetroleo.com/fisico-quimica-del-asfalto>
7. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3334/?sequence=13>
8. <http://www.lanamme.ucr.ac.cr/sitio-nuevo/images/ensayos/9-ensayos/9.34-9.35-9.36.pdf>
9. <https://www.monografias.com/trabajos15/asfaltos-modificados/asfaltos-modificados.shtml>
10. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3334/34065-15.pdf?sequence=15&isAllowed=y>
11. <http://www.tdmasfaltos.com.pe/betutec.php>
12. http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_130_181_83_1181.pdf
13. https://www.academia.edu/13989918/UNIVERSIDAD_NACIONAL_DE_INGENIER%C3%8DA_FACULTAD_DE_INGENIER%C3%8DA_CIVIL_SECCI%C3%93N_DE_POSTGRADO_LA_DEFORMACI%C3%93N_PERMANENTE_EN_LAS_MEZCLAS_ASF%C3%81LTICAS_Y_EL_CONSECUENTE_DETERIORO
14. <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/12/sbs.html>
15. <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt272.pdf>
16. www.controls-group.com/...hamburg.../nomefile=dwt_hamburg_db_mx_23_07_201...
17. <https://es.scribd.com/document/238193275/LIGANTES-ASFALTICOS>
18. <https://es.slideshare.net/Neridadeysi/patologias-en-pavimentos-flexibles>
19. <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa3/n5/m8.html>
20. <https://www.losadhesivos.com/definicion-de-polimero.html>
21. <https://core.ac.uk/download/pdf/153565673.pdf>
22. <https://es.scribd.com/document/381212559/ASTM-D-3515>
23. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/caceres_m_ca/capitulo4.pdf

ANEXOS

Anexo n° 1. Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	MÉTODO		
GENERAL	GENERAL	GENERAL					
¿De qué manera y en qué medida la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS Betutec IC tiene mejor comportamiento mecánico en comparación a la mezcla asfáltica convencional 60/70?	Analizar y determinar cuál de las dos mezclas presenta mejor comportamiento mecánico, si la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS Betutec IC o la mezcla asfáltica convencional 60/70.	Mediante la utilización de mezclas asfálticas modificadas con polímeros SBS Betutec IC se mejora las propiedades mecánicas de resistencia, comparada con una mezcla convencional PEN 60/70, trayendo como consecuencia un mayor desempeño ante las cargas de tráfico, alargando la vida útil del pavimento.	V. INDEPENDIENTES	Manual EG-2013 del MTC	El Diseño de investigación es experimental, porque manipulamos de manera intencional una o mas variables para analizar las consecuencias de tal manipulación sobre una o mas variables dependientes		
			Mezcla Asfáltica Modificada con Polímeros SBS Betutec IC	Formatos de Laboratorio			
			Mezcla Asfáltica Convencional 60/70	Tablas	El tipo de investigación es cuantitativa, porque cada etapa precede a la siguiente y no podemos brincar o eludir pasos. El nivel de investigación es de tipo explicativa - correlacional		
			Número de repeticiones de carga (N)	Formatos de Laboratorio Reporte computador de Máquina de Hamburgo			
ESPECÍFICO	ESPECÍFICO	ESPECÍFICO	V. DEPENDIENTES				
¿Cuál será la estabilidad, flujo y el óptimo contenido de asfalto %, de una mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS Betutec IC y una mezcla asfáltica convencional 60/70?	Determinar los valores de estabilidad, flujo y el óptimo contenido de asfalto %, que presentará la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS Betutec IC y la mezcla asfáltica convencional 60/70.	La mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS Betutec IC nos ofrecerá un mayor nivel de estabilidad, un menor nivel de flujo y un menor óptimo contenido de asfalto % en comparación a la mezcla asfáltica convencional 60/70.	Resistencia a la Deformación Plástica y Permanente de la Mezcla Asfáltica Modificada con Polímeros SBS Betutec IC	Norma AASHTO T 324-04	Se plantea un problema de estudio delimitado y concreto. Una vez planteado el problema de estudio, se considera lo que se ha investigado anteriormente y construye un marco teórico.		
¿Cuál mezcla presentará mejor desempeño al ahuellamiento bajo condiciones de humedad, la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS Betutec IC o la mezcla asfáltica convencional 60/70?	Determinar el grado de desempeño al ahuellamiento bajo condiciones de humedad de la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS Betutec IC y la mezcla asfáltica convencional 60/70, mediante la prueba de Rueda de Hamburgo.	La mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS Betutec IC nos ofrecerá un mejor desempeño al ahuellamiento bajo condiciones de humedad en comparación a la mezcla asfáltica convencional 60/70.				Prensa Marshall	La recolección de los datos se fundamenta en la medición (se miden las variables o conceptos contenidos en las hipótesis).
¿Cuál mezcla presentará mejor comportamiento si la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS Betutec IC o una mezcla asfáltica convencional 60/70?	Determinar que mezcla presentará mejor comportamiento si la mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS Betutec IC y la mezcla asfáltica convencional 60/70.	La mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS Betutec IC nos ofrecerá un mejor comportamiento en comparación a la mezcla asfáltica convencional 60/70.				Resistencia a la Deformación Plástica y Permanente de la Mezcla Asfáltica Convencional 60/70	Formatos de Laboratorio

Anexo n° 2. Validación de Expertos

TITULO DEL PROYECTO: "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLIMEROS SBS BETUTEC IC Y UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL 60/70"

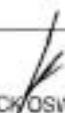
AUTORES: RAUL MAURICIO RAMÍREZ VILLANUEVA – GERARDO LUIS VILLAFANA HUAMAN

Informe del Validador Experto:

Tipo de Validador	Interno () (Docente UPN)	Externo (x)		
Apellidos y Nombres	Erick Oswaldo Zegarra Aranda			
Sexo	Masculino			
Profesión	Ingeniero Civil			
Grado Académico	Licenciado (x)	Magister ()	Doctor()	
Años de Experiencia Laboral	5-10 (x)	11-15 ()	16-20 ()	21 a más años ()

Solo para validado externo:

Organizado donde labore	OHL Ingenieros SAC
Cargo actual	Jefe Laboratorio
Área de especialización	Suelos y Pavimentos
Número de teléfono de contacto	962355708
Correo electrónico de contacto	Erick.zegarra.erkom@gmail.com
Medio de preferencia para contactarlo	Erick.zegarra.erkom@gmail.com

Firma y sello del validador experto	 ERICK OSWALDO ZEGARRA ARANDA Reg. CIP N° 112639 OHL INGENIEROS S.A.C.
D.N.I.10615886	

TITULO DEL PROYECTO: "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLIMEROS SBS BETUTEC IC Y UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL 60/70"

AUTORES: RAUL MAURICIO RAMÍREZ VILLANUEVA – GERARDO LUIS VILLAFANA HUAMAN

Informe del Validador Experto:

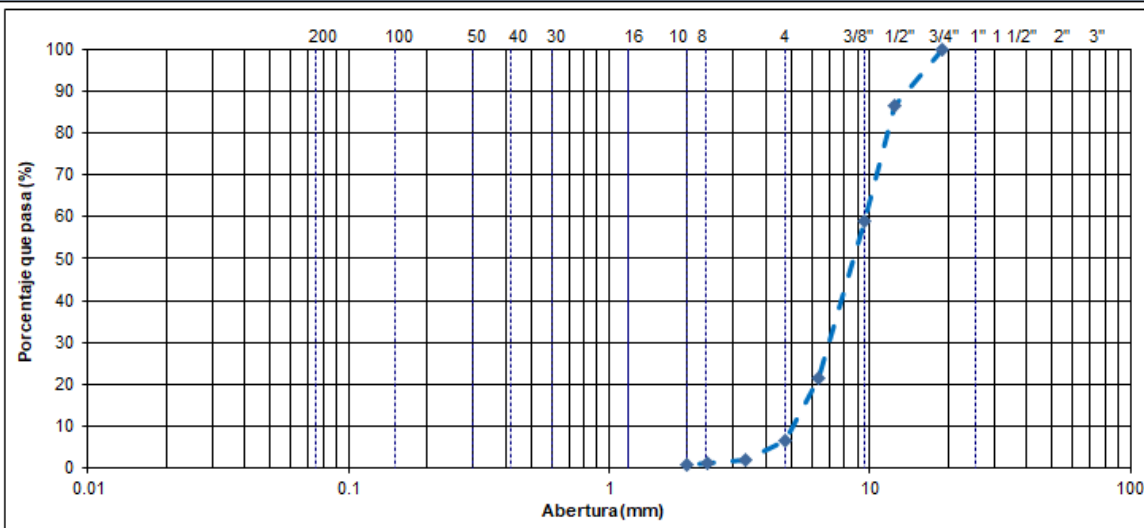
Tipo de Validador	Interno () Externo (x) (Docente UPN)			
Apellidos y Nombres	HERENCIA PEÑA DE PAREJA, WENDY LUISA			
Sexo	FEMENINO			
Profesión	INGENIERO QUIMICO			
Grado Académico	Licenciado (X)	Magister ()	Doctor()	
Años de Experiencia Laboral	5-10 ()	11-15 ()	16-20 (X)	21 a más años ()

Solo para validado externo:

Organizado donde labore	TDM ASFALTOS SAC
Cargo actual	JEFE DE AREA TECNICA
Área de especialización	ASFALTOS
Número de teléfono de contacto	987-507332 / 616-9300 Anexo 314
Correo electrónico de contacto	wherencia@tdm.com.pe
Medio de preferencia para contactarlo	correo

Firma y sello del validador experto	 HERENCIA PEÑA DE PAREJA JEFE DEL AREA TECNICA TDM ASFALTOS SAC
D.N.I.	06792704

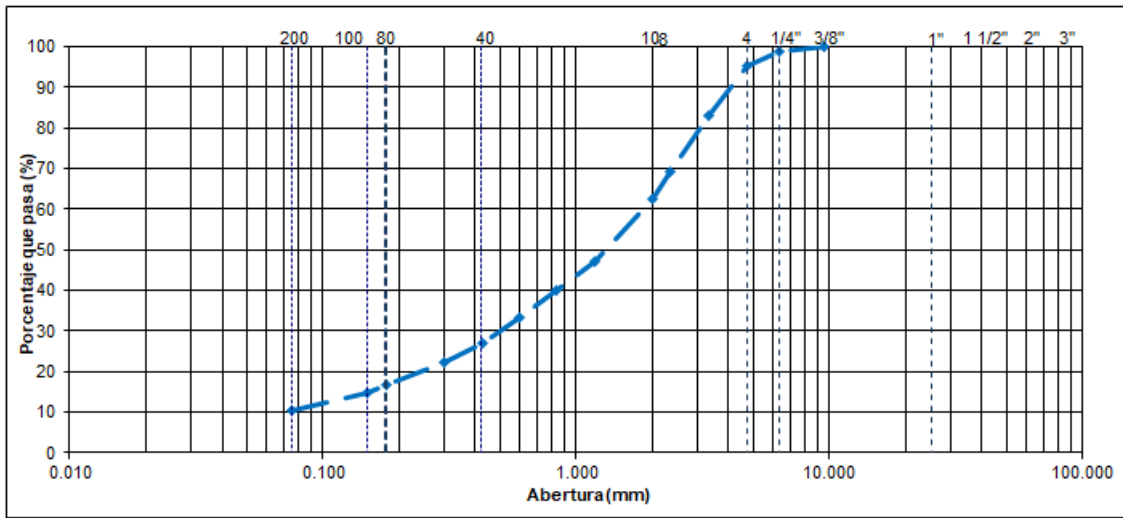
Anexo n° 3. Análisis Granulométrico Piedra Chancada <3/4"

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (NORMA AASHTO T-27, ASTM D422)								
LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS								
PROYECTO	: TESIS						Registro	001
ESTRUCTURA	: Pavimento						Hecho Por	M. R. V.
MATERIAL	: Piedra Chancada 3/4"						Hecho Por	G. V. H.
CANTERA	: Rumi						Fecha de Ensayo	7-Feb-19
UBICACIÓN	:							
DATOS DE LA MUESTRA								
TIPO	:			TAMAÑO MÁXIMO	3/4"			
MUESTRA	:	M-001		Peso inicial seco	13810.5 g			
TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
3"	76.200						Contenido de Humedad (%):	
2 1/2"	63.500							
2"	50.800							
1 1/2"	38.100							
1"	25.400							
3/4"	19.000				100.0			
1/2"	12.500	1867.8	13.5	13.5	86.5			
3/8"	9.500	3782.5	27.4	40.9	59.1			
1/4"	6.350	5216.8	37.8	78.7	21.3			
Nº 4	4.750	2012.1	14.6	93.3	6.7			
Nº 6	3.360	660.1	4.8	98.0	2.0			
Nº 8	2.380	111.6	0.8	98.8	1.2			
Nº 10	2.000	23.5	0.2	99.0	1.0			
<Nº 10	FONDO	136.1	1.0	100.0				
CURVA GRANULOMÉTRICA								
								

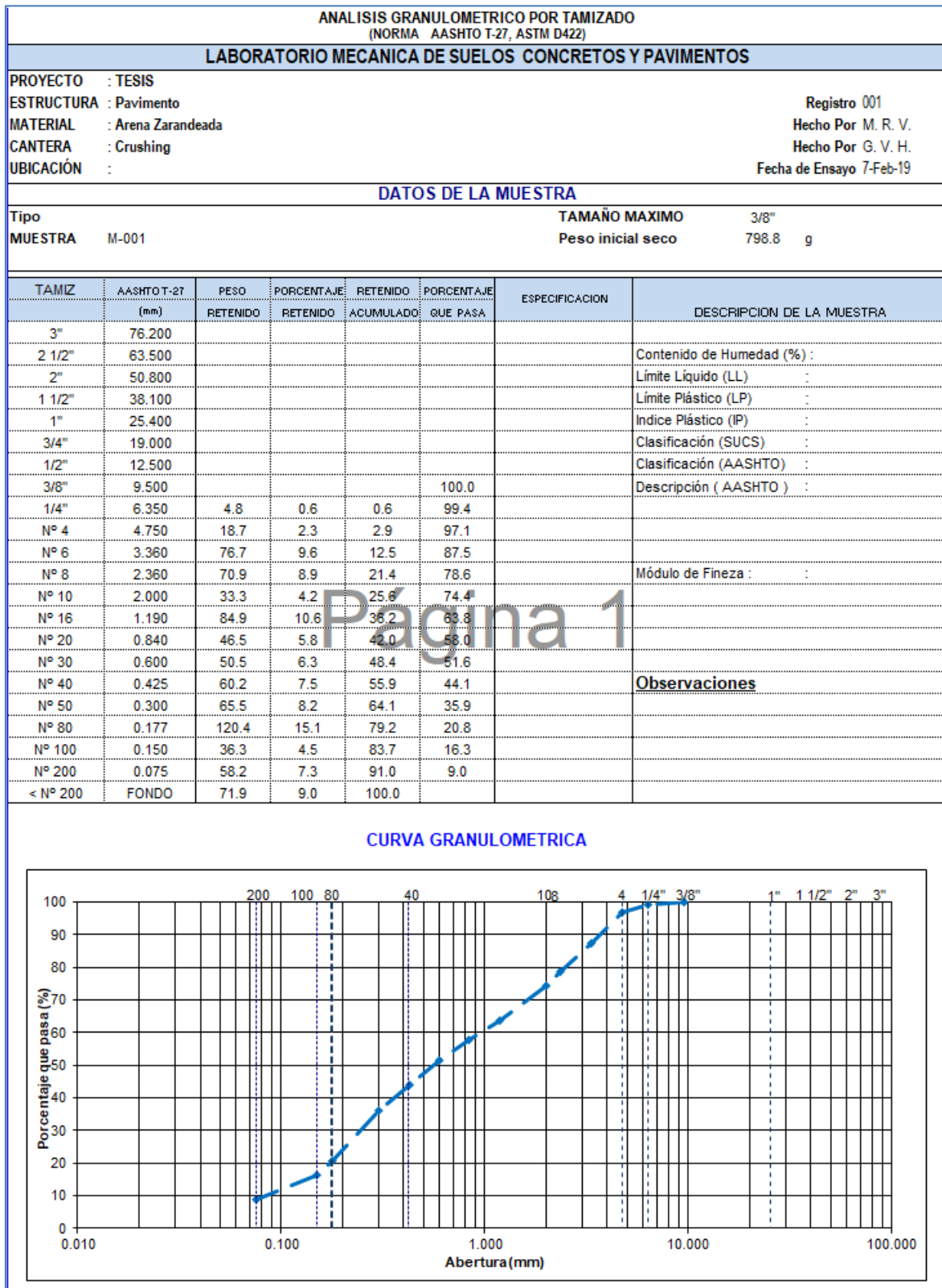
Anexo n° 4. Análisis Granulométrico Arena Chancada <3/8"

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (NORMA AASHTO T-27, ASTM D422)							
LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS							
PROYECTO : TESIS						Registro 001	
ESTRUCTURA : Pavimento						Hecho Por M. R. V.	
MATERIAL : Arena Chancada						Hecho Por G. V. H.	
CANTERA : Rumi						Fecha de Ensayo 7-Feb-19	
UBICACIÓN :							
DATOS DE LA MUESTRA							
Tipo				TAMAÑO MÁXIMO		3/8"	
MUESTRA M-001				Peso inicial seco		796.2 g	
TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.200						
2 1/2"	63.500						Contenido de Humedad (%) :
2"	50.800						Límite Líquido (LL) :
1 1/2"	38.100						Límite Plástico (LP) :
1"	25.400						Índice Plástico (IP) :
3/4"	19.000						Clasificación (SUCS) :
1/2"	12.500						Clasificación (AASHTO) :
3/8"	9.500				100.0		Descripción (AASHTO) :
1/4"	6.350	9.2	1.2	1.2	98.8		
Nº 4	4.750	28.6	3.6	4.7	95.3		
Nº 6	3.360	96.0	12.1	16.8	83.2		
Nº 8	2.360	110.8	13.9	30.7	69.3		Módulo de Fineza :
Nº 10	2.000	52.6	6.6	37.3	62.7		
Nº 16	1.190	122.5	15.4	52.7	47.3		
Nº 20	0.840	59.3	7.4	60.2	39.8		
Nº 30	0.600	53.3	6.7	66.9	33.1		
Nº 40	0.425	48.0	6.0	72.9	27.1		Observaciones
Nº 50	0.300	39.4	4.9	77.8	22.2		
Nº 80	0.177	43.5	5.5	83.3	16.7		
Nº 100	0.150	14.4	1.8	85.1	14.9		
Nº 200	0.075	36.8	4.6	89.7	10.3		
< Nº 200	FONDO	81.8	10.3	100.0			

CURVA GRANULOMÉTRICA



Anexo n° 5. Análisis Granulométrico Arena Zarandeada <3/8"



Anexo n° 6. Chatas y Alargadas

INDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO DE AGREGADOS (ASTM D-4791)											
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS											
PROYECTO		: TESIS									
ESTRUCTURA		: PAVIMENTO									
MATERIAL		: MEZCLA DE AGREGADOS					HECHO POR GERARDO VILLAFANA H.				
GRADACION		: DISEÑO ASTM D-3515 - D5					HECHO POR MAURICIO RAMIREZ V.				
UBICACIÓN		: RUMI - CRUSHING					FECHA 01.02.19				
DATOS DE LA MUESTRA											
MUESTRA		: TENTATIVA N° 2									
TAMICES				Granul. % retenido (RI)	Fraccion Analizada (PI)grms	CALIBRACION		INDICE DE FRACCION		INDICE PONDERADO	
PASA		RETIENE				PLANAS	ALARGADAS	APLAN.	ALARG.] AP x RI] AL x RI
Pulg.	mm.	Pulg.	mm.			(PII)gr.	(PIII)gr.	(IAP=PII x 100 / PI)	(IAL=PIII x 100 / P		
2 1/2"	63.00	2"	50.00								
2"	50.00	1 1/2"	37.50								
1 1/2"	37.50	1"	25.00								
1"	25.00	3/4"	19.00								
3/4"	19.00	1/2"	12.50	15.2	860.1	43.7		5.08		77.43	
1/2"	12.50	3/8"	9.50	26.2	366.9	21.8		5.94		155.59	
3/8"	9.50	1/4"	6.30	38.9	176.7	6.0		3.40		131.98	
				80.3						365.00	
INDICE TOTAL :						=	4.5				
INDICE DE APLANAMIENTO						$\sum IAP / \sum RI$	=	4.5			
INDICE DE ALARGAMIENTO						$\sum IAL / \sum RI$	=				
ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA ASFALTO							10% max.				

Página 1

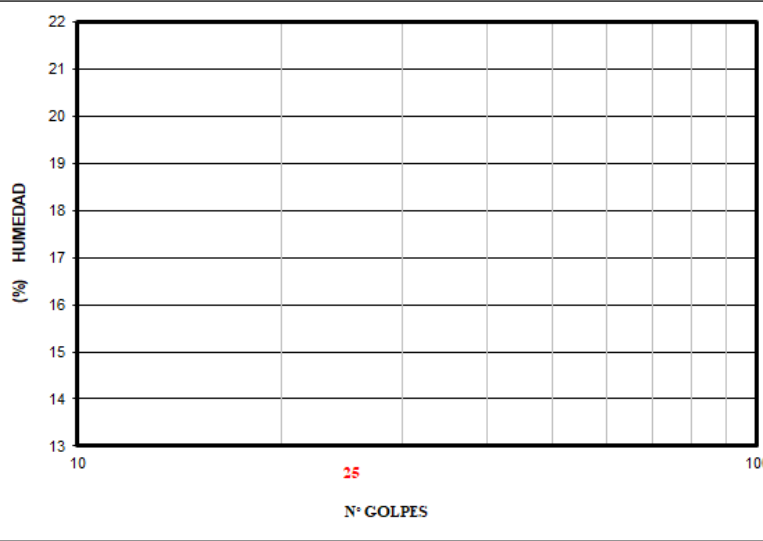
Anexo n° 7. Caras Fracturadas

ENSAYO DE CARAS FRACTURAS DE LOS AGREGADOS (NORMA MTC E - 210)						
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS						
PROYECTO	TESIS					
ESTRUCTURA	PAVIMENTO					
MATERIAL	MEZCLA DE AGREGADOS			HECHO POR	GERARDO VILLAFANA H.	
GRADACION	DISEÑO ASTM D-3515 - D5			HECHO POR	MAURICIO RAMIREZ V.	
CANTERA	RUMI - CRUSHING			FECHA	01/02/19	
DATOS DE LA MUESTRA						
PROGRESIVA						
A.- CON UNA CARA FRACTURADA						
TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	C	D	E
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	Peso muestra (g)	Peso material con caras fracturadas (g)	% de caras fracturadas ((B/A)*100)	Retenido gradación original (%)	Promedio de caras fracturadas C+D
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	500.0	498.6	99.7	15.2	1519.7
1/2"	3/8"	200.0	195.9	98.0	26.2	2565.0
TOTAL		700.0	694.5	197.7	41.4	4084.7
PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA =		$\frac{\text{TOTAL E}}{\text{TOTAL D}}$		= 98.6%		
				ESPECIFICACIONES TECNICAS 85 % MIN.		
B.- CON DOS O MAS CARAS FRACTURADAS						
TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	C	D	E
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	Peso muestra (g)	Peso material con caras fracturadas (g)	% de caras fracturadas ((B/A)*100)	Retenido gradación original (%)	Promedio de caras fracturadas C+D
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	500.0	461.7	92.3	15.2	1407.2
1/2"	3/8"	200.0	177.4	88.7	26.2	2322.8
TOTAL		700.0	1489.5	181.0	41.4	3730.0
PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA =		$\frac{\text{TOTAL E}}{\text{TOTAL D}}$		= 90.0%		
				ESPECIFICACIONES TECNICAS 50 % MIN.		

Anexo n° 8. Equivalente de Arena

EQUIVALENTE DE ARENA					
(NORMA MTC E - 114)					
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS					
PROYECTO	: TESIS				
ESTRUCTURA	: PAVIMENTO				
MATERIAL	: MEZCLA DE AGREGADOS			HECHO POR : GERARDO VILLAFANA H.	
GRADACION	: DISEÑO ASTM D-3515 - D5			HECHO POR : MAURICIO RAMIREZ V.	
CANTERA	: RUMI - CRUSHING			FECHA : 1-Feb-19	
DATOS DE LA MUESTRA					
PROGRESIVA	:				
DETALLE		IDENTIFICACION			Promedio
		1	2	3	%
Tamaño máximo (pasa tamiz N°4)	mm	4.76	4.76	4.76	
Hora de entrada a saturación		09:15	09:17	09:19	
Hora de salida de saturación (mas 10')		09:25	09:27	09:29	
Hora de entrada a decantación		09:27	09:29	09:31	
Hora de salida de decantación (mas 20')		09:47	09:49	09:51	
Altura máxima de material fino	mm	5.10	5.20	5.20	
Altura máxima de la arena	mm	3.60	3.50	3.50	
Equivalente de Arena	%	70.6	67.3	67.3	68.0
ESPECIFICACIONES TECNICAS					60 % MIN

Anexo n° 9. Límites de Consistencia (malla N°40)

LIMITES CONSISTENCIA (ESPECIFICACION ASTM - D 423 / D 424)																	
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS																	
PROYECTO	: TESIS																
ESTRUCTURA	: PAVIMENTO																
MATERIAL	: MEZCLA DE AGREGADOS	HECHO POR	GERARDO VILLAFANA H.														
GRADACION	: DISEÑO ASTM D-3515 - D5	HECHO POR	MAURICIO RAMIREZ V.														
CANTERA	: RUMI - CRUSHING	FECHA	1/2/19														
DATOS DE LA MUESTRA																	
PROGRESIVA	progresiva TAMAÑO MAXIMO < N° 40																
LIMITE LIQUIDO (LL)																	
N° TARRO																	
PESO TARRO + SUELO HUMEDO																	
PESO TARRO + SUELO SECO																	
PESO DE AGUA																	
PESO DEL TARRO																	
PESO DEL SUELO SECO																	
CONTENIDO DE HUMEDAD	N.P.	N.P.	N.P.														
NUMERO DE GOLPES																	
LIMITE PLASTICO (LP)																	
N° TARRO																	
PESO TARRO + SUELO HUMEDO																	
PESO TARRO + SUELO SECO																	
PESO DE AGUA																	
PESO DEL TARRO																	
PESO DEL SUELO SECO																	
CONTENIDO DE DE HUMEDAD																	
			<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">L.L. =</td> <td></td> </tr> <tr> <td>P.L. =</td> <td style="text-align: center;">N.P.</td> </tr> <tr> <td>I.P. =</td> <td style="text-align: center;">N.P.</td> </tr> <tr> <td style="color: red;">ESPECIFICACION TECNICA</td> <td style="color: red; text-align: center;">N.P.</td> </tr> <tr> <th colspan="2" style="background-color: #ffffcc;">OBSERVACIONES</th> </tr> <tr> <td colspan="2" style="height: 100px;"></td> </tr> </table>			L.L. =		P.L. =	N.P.	I.P. =	N.P.	ESPECIFICACION TECNICA	N.P.	OBSERVACIONES			
L.L. =																	
P.L. =	N.P.																
I.P. =	N.P.																
ESPECIFICACION TECNICA	N.P.																
OBSERVACIONES																	

Anexo n° 10. Límites de Consistencia (malla N°200)

LIMITES CONSISTENCIA (ESPECIFICACION ASTM - D 423 / D 424)						
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS						
PROYECTO	: TESIS					
ESTRUCTURA	: PAVIMENTO					
MATERIAL	: MEZCLA DE AGREGADOS			HECHO POR	GERARDO VILLAFANA H.	
GRADACION	: DISEÑO ASTM D-3515 - D5			HECHO POR	MAURICIO RAMIREZ V.	
CANtera	: RUMI - CRUSHING			FECHA	1/2/19	
DATOS DE LA MUESTRA						
PROGRESIVA						
progresiva TAMAÑO MAXIMO < N° 200						
LIMITE LIQUIDO (LL)						
N° TARRO						
PESO TARRO + SUELO HUMEDO						
PESO TARRO + SUELO SECO						
PESO DE AGUA						
PESO DEL TARRO						
PESO DEL SUELO SECO						
CONTENIDO DE HUMEDAD	N.P.	N.P.	N.P.			
NUMERO DE GOLPES						
LIMITE PLASTICO (LP)						
N° TARRO						
PESO TARRO + SUELO HUMEDO						
PESO TARRO + SUELO SECO						
PESO DE AGUA						
PESO DEL TARRO						
PESO DEL SUELO SECO						
CONTENIDO DE DE HUMEDAD						
			LL. =			
			PL. = N.P.			
			IP. = N.P.			
			ESPECIFICACION TECNICA 4 % MAX			
OBSERVACIONES						

Anexo n° 11. Angularidad de la Arena

ANGULARIDAD DE LA ARENA					
MTC E 222					
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS					
PROYECTO	TESIS				
ESTRUCTURA	PAVIMENTO				
MATERIAL	MEZCLA DE AGREGADOS	HECHO POR GERARDO VILLAFANA H.			
GRADACION	DISEÑO ASTM D-3515 - D5	HECHO POR MAURICIO RAMIREZ V.			
CANERA	RUMI - CRUSHING	FECHA : 1/2/19			
DATOS DE LA MUESTRA					
N°	Ensayo	1	2	3	PROMEDIO
1	Peso Material + Molde (grs)	244.2	244.4		
2	Peso Del Molde (grs)	90.1	90.1		
3	Peso Neto Del Material (grs)	154.1	154.3		
4	Volumen Del Molde (cc)	98.8	98.8		
5	Peso Unitario (gr/cc)	1.560	1.562		1.561
N°	Ensayo	4	5	6	PROMEDIO
A	Peso Mat. Sat. Sup. Seco (en Aire)	500.0	500.0		
B	Peso Frasco + agua	1235.1	1237.2		
C	Peso Frasco + agua + A	1735.1	1737.2		
D	Peso del Mat. + agua en el frasco	1550.2	1552.1		
E	Vol de masa + vol de vacio = C-D	184.9	185.1		
F	Pe. De Mat. Seco en estufa (105°C)	496.1	496.2		
G	Vol de masa = E - (A - F)	181.0	181.3		
	Pe bulk (Base seca) = F/E	2.683	2.681		2.682
	Pe bulk (Base saturada) = A/E	2.704	2.701		2.703
	Pe aparente (Base Seca) = F/G	2.741	2.737		2.739
	Absorción = ((A - F)/F)*100	0.786	0.766		0.776
N°	Ensayo	1	2	3	PROMEDIO
1	Peso Especifico Seco (Gsb)	2.682	2.682		
2	Volumen de Molde(V)	98.8	98.8		
3	Peso de material en el molde (w)	154.1	154.3		
4	Angularidad de agregado fino %	41.8	41.8		41.8
	ANGULARIDAD = $(V-(W/Gsb)/V)*100$	=	41.8%		
	ESPECIFICACION TECNICA		30 % Minimo		

Anexo n° 12. Durabilidad

ENSAYO DE DURABILIDAD									
MTC - E-209 (NORM ASTM C - 88)									
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS									
PROYECTO : TESIS									
ESTRUCTURA : PAVIMENTO									
MATERIAL : MEZCLA DE AGREGADOS		HECHO POR GERARDO VILLAFANA H.							
GRADACION : DISEÑO ASTM D-3515 - D5		HECHO POR MAURICIO RAMIREZ V.							
CANTERA : RUMI - CRUSHING		FECHA 1/2/19							
DATOS DE LA MUESTRA									
PROGRESIVA :									
progresiva									
Observaciones DISEÑO ASTM D-3515 - D5									
AGREGADO GRUESO									
TAMIZ			PESO REQUERIDO (gr)	PESO INICIAL (gr)	PESO FINAL (gr.)	PERDIDA		GRADACION ORIGINAL DE LA MUESTRA	PERDIDA CORREGIDA
PASANTE	RET.					PESO	%		
2 1/2"	2"	2 1/2" - 1 1/2"	3000 +/-100						
2"	1 1/2"		2000 +/-100						
1 1/2"	1"	1 1/2" - 3/4"	1000 +/-50						
1"	3/4"		500 +/- 30						
3/4"	1/2"	3/4" - 3/8"	670 +/- 10	1000.0	980.4	19.60	1.96	41.4	0.812
1/2"	3/8"		330 +/- 5						
3/8"	N°4	N° 4	300 +/- 5	300.0	279.1	20.90	6.97	58.6	4.081
TOTAL									4.89%
ESPECIFICACION TECNICA									15%
AGREGADO FINO									
TAMIZ			PESO REQUERIDO (gr)	PESO INICIAL (gr)	PESO FINAL (gr.)	PERDIDA		GRADACION ORIGINAL DE LA MUESTRA	PERDIDA CORREGIDA
PASANTE	RET.					PESO	%		
3/8"	N° 04								
N° 04	N° 08		100	100.0	92.5	7.50	7.50	32.9	2.468
N° 08	N° 16		100	100.0	90.2	9.80	9.80	25.2	2.470
N° 16	N° 30		100	100.0	86.5	13.50	13.50	11.4	1.539
N° 30	N° 50		100	100.0	87.2	12.80	12.80	5.9	0.755
N° 50	N° 100								
TOTAL									7.23%
ESPECIFICACION TECNICA									

Anexo n° 13. Índice de Durabilidad

INDICE DE DURABILIDAD AGREGADO FINO (NORMA AASHTO T-210, MTC E214-99)					
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS					
PROYECTO	TESIS		HECHO POR	GERARDO VILLAFANA H.	
ESTRUCTURA	PAVIMENTO		HECHO POR	MAURICIO RAMIREZ V.	
MATERIAL	MEZCLA DE AGREGADOS		FECHA	1/02/2019	
GRADACION	DISEÑO ASTM D-3515 - D5				
DATOS DE LA MUESTRA					
PROGRESIVA					
INDICE DE DURABILIDAD AGREGADO FINO (NORMA AASHTO T-210, MTC E214-99)					
COMBINACIÓN DE AGREGADOS		IDENTIFICACION			Promedio
		1	2	3	
Tamaño máximo (pasa malla N° 4)	mm	4.75	4.75	4.75	
Hora de entrada a saturación		10:25	10:27	10:29	
Hora de salida de saturación (mas 10")		10:35	10:37	10:39	
Hora de entrada a decantación		10:45	10:47	10:49	
Hora de salida de decantación (mas 20")		11:05	11:07	11:09	
Altura máxima de material fino	mm	5.60	5.70	5.70	
Altura máxima de la arena	mm	3.20	3.30	3.30	
Equivalente de Arena	%	57.0	58.0	58.0	58.0
ESPECIFICACIONES TECNICAS					35 Min.
INDICE DE DURABILIDAD AGREGADO GRUESO (NORMA AASHTO T-210, MTC E214-99)					
COMBINACIÓN DE AGREGADOS		IDENTIFICACION			Promedio
		1	2	3	
Tamaño máximo (pasa malla N° 200)	mm	0.075	0.075	0.075	
Hora de entrada agitación		13:20	13:22	13:24	
Hora de salida de agitación (mas 10')		13:40	13:42	13:44	
Hora de entrada a decantación		14:05	14:08	14:10	
Hora de salida de decantación (mas 20')		14:25	14:27	14:29	
Altura de sedimentación	Pulg.	2.30	2.40	2.40	
Índice de durabilidad	%	59.0	58.0	58.0	58.33
ESPECIFICACIONES TECNICAS					35 Min.

Anexo n° 14. Desgaste por Abrasión

ENSAYO DE ABRASION (MAQUINA DE LOS ANGELES)					
(ESPECIFICACION ASTM C 131)					
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS					
PROYECTO	: TESIS		HECHO POR	: GERARDO VILLAFANA H	
ESTRUCTURA	: PAVIMENTO		HECHO POR	: MAURICIO RAMIREZ V.	
MATERIAL	: MEZCLA DE AGREGADOS		HECHO POR	: MAURICIO RAMIREZ V.	
GRADACION	: DISEÑO ASTM D-3515 - D5		HECHO POR	: MAURICIO RAMIREZ V.	
DATOS DE LA MUESTRA					
PROGRESIVA	:		progresiva	: DISEÑO ASTM D-3515 - D5	
			Observaciones	: DISEÑO ASTM D-3515 - D5	
TAMIZ		GRADACION			
Pasante	Retenido	A	B	C	D
1 1/2"	1"				
1"	3/4"				
3/4"	1/2"		2501.6		
1/2"	3/8"		2502.8		
3/8"	1/4"				
1/4"	N° 4				
N° 4	N° 8				
(1) Peso Total (gr)			5004.4		
(2) Peso retenido en el tamiz N° 12 (gr)			538.6		
(3) Peso que pasa en el tamiz N° 12 (gr) (1-2)			4465.8		
N° de esferas			11		
Numero de revoluciones			500		
Tiempo de rotación (minutos)			15		
Peso de las esferas (gr)			4584 +/- 25		
Porcentage de abrasion			10.8%		
ESPECIFICACIONES TECNICAS				35 % MAX	

Anexo n° 15. Sales Solubles agregado grueso

CONTENIDO DE SALES SOLUBLES EN AGREGADOS				
(NORMA MTC E - 219)				
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS				
PROYECTO : TESIS				
ESTRUCTURA : PAVIMENTO				
MATERIAL : MEZCLA DE AGREGADOS	HECHO POR : GERARDO VILLAFANA H.			
GRADACION : DISEÑO ASTM D-3515 - D5	HECHO POR : MAURICIO RAMIREZ V.			
CANTERA : RUMI - CRUSHING	FECHA : 1/2/19			
DATOS DE LA MUESTRA				
PROGRESIVA :				
Observaciones : DISEÑO ASTM D-3515 - D5				
Tamaño Maximo < N° 3/4"				
AGREGADO GRUESO				
		IDENTIFICACION		
N° DE ENSAYOS	1	2	3	
(1) Peso Tarro (Biker 100 ml)	52.30	53.10	52.39	
(2) Peso de Tarro + Agua + Sal	93.20	95.40	90.25	
(3) Peso de Tarro seco + Sal	52.35	53.15	52.44	
(4) Peso de Sal (3 - 1)	0.05	0.05	0.05	
(5) Peso del Agua (2 - 3)	40.85	42.25	37.81	
(6) Porcentaje de sales (%)	0.122	0.118	0.132	
(7) Porcentaje de Sal	0.124%			
ESPECIFICACIONES TECNICAS		0.50%		

Anexo n° 16. Sales Solubles agregado fino

CONTENIDO DE SALES SOLUBLES EN AGREGADOS			
(NORMA MTC E - 219)			
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS			
PROYECTO :	TESIS		
ESTRUCTURA :	PAVIMENTO		
MATERIAL :	MEZCLA DE AGREGADOS	HECHO POR :	GERARDO VILLAFANA H.
GRADACION :	DISEÑO ASTM D-3515 - D5	HECHO POR :	MAURICIO RAMIREZ V.
CANTERA :	RUMI - CRUSHING	FECHA :	1/2/19
DATOS DE LA MUESTRA			
PROGRESIVA :			
Observaciones :			
DISEÑO ASTM D-3515 - D5			
Tamaño Maximo < N° 4			
AGREGADO FINO			
		IDENTIFICACION	
N° DE ENSAYOS	1	2	3
(1) Peso Tarro (Biker 100 ml)	53.20	54.24	53.41
(2) Peso de Tarro + Agua + Sal	93.20	94.12	95.30
(3) Peso de Tarro seco + Sal	53.38	54.42	53.59
(4) Peso de Sal (3 - 1)	0.18	0.18	0.18
(5) Peso del Agua (2 - 3)	39.82	39.70	41.71
(6) Porcentaje de sales (%) (100/((3)x(1))/(4)x(2)))	0.452	0.453	0.432
(7) Porcentaje de Sal	0.446%		
ESPECIFICACIONES TECNICAS		0.50%	

Anexo n° 19. Adherencia agregado fino modificado

ENSAYO DE ADHESIVIDAD RIEDEL WEBER						
NORMA MTC E 220 -1999						
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS						
PROYECTO	TESIS					
ESTRUCTURA	PAVIMENTO					
MATERIAL	MEZCLA DE AGREGADOS			HECHO POR	GERARDO VILLAFANA H.	
GRADACION	DISEÑO ASTM D-3515 - D5			HECHO POR	MAURICIO RAMIREZ V.	
CANTERA	RUMI - CRUSHING			FECHA	1/2/19	
DATOS DE LA MUESTRA						
PROGRESIVA						
	Tipo de Asfalto	BETUTEC IC	GRAVEDAD ESPECIFICA	1.019 gr/cc		
	MUESTRA	TOMADA DE LA PLANTA TDM ASFALTOS				
	CANTERA	Combinacion de Arena				
Concentración (gr./lt Na ₂ CO ₃)	Indice de Adhesividad	Observación			% Indice de Adhesividad	
Agua Destilada		No se observa desprendimiento				
M/256 = 0.414	1	No se observa desprendimiento				
M/128 = 0.828	2	No se observa desprendimiento				
M/64 = 1.656	3	No se observa desprendimiento				
M/32 = 3.312	4	No se observa desprendimiento				
M/16 = 6.625	5	No se observa desprendimiento				
M/8 = 13.25	6	No se observa desprendimiento				
M/4 = 26.5	7	Desprendimiento Parcial				
M/2 = 53.0	8*	Desprendimiento Parcial				
M/1 = 106.0	9	Desprendimiento Parcial			> 6	
		ESPECIFICACIONES TECNICAS			Min. 6 %	

Anexo n° 21. Gravedad Específica y Absorción

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE LOS AGREGADOS					
(ESPECIFICACION ASTM - C 128 / C 129)					
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS					
PROYECTO	TESIS		HECHO POR	GERARDO VILLAFANA H.	
ESTRUCTURA	PAVIMENTO		HECHO POR	MAURICIO RAMIREZ V.	
MATERIAL	MEZCLA DE AGREGADOS		FECHA	1/2/19	
GRADACION	DISEÑO ASTM D-3515 - D5				
CANTERA	RUMI - CRUSHING				
DATOS DE MUESTRA					
PROGRESIVA					
MUESTRA	N° 1				
PROF. (m)					
AGREGADO FINO ASTM C 128 (MTC E 205)					
N°	ENSAYO	1	2	3	
A	Peso Mat. Sat. Sup. Seco (en Aire)	500.0	500.0		
B	Peso Frasco + agua	1235.1	1237.2		
C	Peso Frasco + agua + A	1735.1	1737.2		
D	Peso del Mat. + agua en el frasco	1550.9	1552.8		
E	Vol de masa + vol de vacio = C-D	184.2	184.4		
F	Pe. De Mat. Seco en estufa (105°C)	496.0	496.1		
G	Vol de masa = E - (A - F)	180.2	180.5		PROMEDIO
	Pe bulk (Base seca) = F/E	2.693	2.690		2.692
	Pe bulk (Base saturada) = A/E	2.714	2.711		2.713
	Pe aparente (Base Seca) = F/G	2.752	2.748		2.750
	Absorción = ((A - F)/F)*100	0.806	0.786		0.80
AGREGADO GRUESO ASTM C 127 (MTC E 206)					
A	Peso Mat.Sat. Sup. Seca (En Aire)	1527.2	1522.4		
B	Peso Mat.Sat. Sup. Seca (En Agua)	967.6	964.8		
C	Vol. de masa + vol de vacios = A-B	559.6	557.6		
D	Peso material seco en estufa (105°C)	1512.6	1508.8		
E	Vol. de masa = C - (A - D)	545.0	544		PROMEDIO
	Pe bulk (Base seca) = D/C	2.703	2.706		2.704
	Pe bulk (Base saturada) = A/C	2.729	2.730		2.730
	Pe Aparente (Base Seca) = D/E	2.775	2.774		2.774
	Absorción = ((A - D) / D * 100)	0.965	0.901		0.93

Anexo n° 22. Análisis Granulométrico mezcla de agregados

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO												
(NORMA MTC E - 107)												
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS												
PROYECTO	TESIS				HECHO POR	: GERARDO VILLAFANA H.						
ESTRUCTURA	PAVIMENTO				HECHO POR	: MAURICIO RAMIREZ V.						
MATERIAL	MEZCLA DE AGREGADOS				FECHA	: 1/2/19						
GRADACION	DISEÑO ASTM D-3515 - D5											
CANTERA	RUMI - CRUSHING											
DATOS DE LA MUESTRA												
PROGRESIVA												
MUESTRA	N° 1				progresiva	:						
PROF. (m)					Observaciones	: DISEÑO ASTM D-3515 - D5						
Tamiz Æ	Material retenido			Material Pasante (%)	Especificaciones		Tolerancias		Descripción			
	Pulgada	mm	Peso (g)		Retenido (%)	Acumulado (%)	min. (%)	max. (%)		min. (%)	max. (%)	
1 1/2"	38.100									PESO INICIAL	10308.0	gr
1"	25.400									PESO DE LA GRAVA	4613.0	gr
3/4"	19.050				100.0	100	100	100.0	100.0	PESO DE LA ARENA	5695.0	gr
1/2"	12.700	703.0	6.8	6.8	93.2	90	100	88.2	100.0	PESO DE LA FRACCION	777.0	gr
3/8"	9.525	1208.0	11.7	18.5	81.5							
1/4"	6.350	1793.0	17.4	35.9	64.1					% DE GRAVA	44.75	%
N° 4	4.750	909.0	8.8	44.8	55.2	44	74	40.2	60.2	% DE ARENA	55.25	%
N° 8	2.360	202.7	14.4	59.2	40.8	28	58	36.8	44.8			
N° 16	1.190	153.4	10.9	70.1	29.9							
N° 30	0.600	106.7	7.6	77.7	22.3							
N° 50	0.300	102.9	7.3	85.0	15.0	5	21	12.0	18.0	GRAVA CHANCADA	45.00	%
N° 80	0.180	69.4	4.9	89.9	10.1					ARENA CHANCADA	33.00	%
N° 200	0.074	67.0	4.8	94.7	5.3	2	10	3.3	7.3	ARENA ZARANDEADA	22.00	%
Bandaja		74.9	5.3	100.0								
Representación Grafica												

Anexo n° 23. Ensayo Marshall Convencional 60/70 (4.5%)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS						
PROYECTO	TESIS			HECHO POR	Gerardo Villafana H.	
ESTRUCTURA	PAVIMENTO			HECHO POR	Mauricio Ramirez V.	
MATERIAL	MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE			FECHA	7-Feb-19	
GRADACION	DISEÑO ASTM D-3515 - D5					
UBICACIÓN						
ENSAYO MARSHALL (ASTM D 1559)						
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	MUESTRA			PROMEDIO
1	NUMERO DE PROBETA	N°	1	2	3	
2	C.A EN PESO DE LA MEZCLA	%	4.50	4.50	4.50	
3	% DE GRAVA TRITURADA EN PESO DE LA MEZCLA	%	42.19	42.19	42.19	
4	% DE ARENA COMBINADA EN PESO DE LA MEZCLA	%	53.31	53.31	53.31	
5	% DE FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%				
6	PESO ESPECIFICO APARENTE DE CEMENTO ASFALTICO	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	PESO ESPECIFICO BULK DE LA GRAVA TRITURADA	gr/cc.	2.704	2.704	2.704	
8	PESO ESPECIFICO APARENTE DE LA GRAVA TRITURADA	gr/cc.	2.774	2.774	2.774	2.739
9	PESO ESPECIFICO BULK DE LA ARENA COMBINADA	gr/cc.	2.692	2.692	2.692	
10	PESO ESPECIFICO APARENTE DE LA ARENA COMBINADA	gr/cc.	2.750	2.750	2.750	2.721
11	PESO ESPECIFICO APARENTE DEL FILLER	gr/cc.				
12	ALTURA PROMEDIO DE LA PROBETA	cm.				
13	PESO DE LA PROBETA EN EL AIRE	gr.	1233.4	1230.6	1231.2	
14	PESO DE PROBETA SATURADA	gr.	1237.5	1235.9	1236.4	
15	PESO DE LA PROBETA EN EL AGUA	gr.	714.6	714.5	715.9	
16	VOLUMEN DE LA PROBETA (14 - 15)	c.c	522.9	521.4	520.5	
17	PESO ESPECIFICO BULK DE LA PROBETA (13 / 16)	gr/cc.	2.359	2.360	2.365	2.361
18	PESO ESPECIFICO MAXIMO (ENSAYO RICE)	gr/cc.	2.548	2.548	2.548	2.548
19	MAXIMA DENSIDAD TEORICA $100 \left(\frac{2.6}{2.6} + \frac{3}{3} \frac{P8}{P10} + \frac{4}{5} \frac{P10}{P11} \right)$	gr/cc.	2.539	2.539	2.539	
20	% DE VACIOS $100 \left(\frac{18-17}{18} \right)$	%	7.42	7.37	7.16	7.32
21	PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL $\frac{3+4+5}{(3/7)+(4/9)+(5/11)}$	gr/cc.	2.697	2.697	2.697	
22	PESO ESPECIFICO APARENTE DEL AGREGADO TOTAL $\frac{3+4+5}{(3/8)+(4/10)+(5/11)}$	gr/cc.	2.761	2.761	2.761	
23	PESO ESPECIFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL $\frac{3+4+5}{(3/P8)+(4/P10)+(5/P11)}$	gr/cc.	2.729	2.729	2.729	
24	C.A ABSORVIDO POR EL PESO DEL AGREGADO SECO $\frac{23-21}{23*21} * 6 * 100$	%	0.44	0.44	0.44	
25	% DEL VOLUMEN DEL AGREGADO / VOLUMEN BRUTO DE LA PROBETA $\frac{(3+4+5)*17}{21}$	%	83.52	83.57	83.75	
26	% DEL VOLUMEN DEL C.A EFECTIVO / VOLUMEN DE PROBETA $\frac{100-(25+20)}{21}$	%	9.06	9.07	9.09	
27	% VACIOS DEL AGREGADO MINERAL (100 - 25)	%	16.48	16.43	16.25	16.39
28	C.A EFECTIVO / PESO DE LA MEZCLA $\frac{2-(24/100)*(3+4+5)}{100}$	%	4.08	4.08	4.08	
29	RELACION ASFALTO - VACIOS $\frac{26/27}{100} * 100$	%	54.97	55.18	55.93	55.36
30	RELACION POLVO ASFALTO		1.32	1.32	1.32	1.32
31	LECTURA DEL ARO	Kg.	265	273	270	269
32	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	kg.	1174	1209	1196	
33	FACTOR DE ESTABILIDAD		0.96	1.00	1.00	
34	ESTABILIDAD CORREGIDA (31 X 32)	kg.	1127	1209	1196	1177
35	LECTURA DEL FLEXIMETRO (36 / 25.4 X 100)	pulg.	12.60	12.60	12.20	12.47
36	FLUENCIA	mm.	3.20	3.20	3.10	3.17
37	RELACION ESTABILIDAD / FLUENCIA (33/ 35)	kg/cm.	3522	3778	3858	3719

Anexo n° 24. Ensayo Marshall Convencional 60/70 (5.0%)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS						
PROYECTO	TESIS		HECHO POR	Gerardo Villafana H.		
ESTRUCTURA	PAVIMENTO		HECHO POR	Mauricio Ramirez V.		
MATERIAL	MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE		FECHA	7-Feb-19		
GRADACION	DISEÑO ASTM D-3515 - D5					
UBICACIÓN						
ENSAYO MARSHALL (ASTM D 1559)						
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	MUESTRA			PROMEDIO
1	NUMERO DE PROBETA	Nº	1	2	3	
2	C.A EN PESO DE LA MEZCLA	%	5.00	5.00	5.00	
3	% DE GRAVA TRITURADA EN PESO DE LA MEZCLA	%	41.97	41.97	41.97	
4	% DE ARENA COMBINADA EN PESO DE LA MEZCLA	%	53.03	53.03	53.03	
5	% DE FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%				
6	PESO ESPECIFICO APARENTE DE CEMENTO ASFALTICO	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	PESO ESPECIFICO BULK DE LA GRAVA TRITURADA	gr/cc.	2.704	2.704	2.704	
8	PESO ESPECIFICO APARENTE DE LA GRAVA TRITURADA	gr/cc.	2.774	2.774	2.774	2.739
9	PESO ESPECIFICO BULK DE LA ARENA COMBINADA	gr/cc.	2.692	2.692	2.692	
10	PESO ESPECIFICO APARENTE DE LA ARENA COMBINADA	gr/cc.	2.750	2.750	2.750	2.721
11	PESO ESPECIFICO APARENTE DEL FILLER	gr/cc.				
12	ALTURA PROMEDIO DE LA PROBETA	cm.				
13	PESO DE LA PROBETA EN EL AIRE	gr.	1228.4	1230.3	1231.5	
14	PESO DE PROBETA SATURADA	gr.	1232.2	1233.1	1235.0	
15	PESO DE LA PROBETA EN EL AGUA	gr.	719.7	720.1	721.3	
16	VOLUMEN DE LA PROBETA (14 - 15)	c.c	512.5	513.0	513.7	
17	PESO ESPECIFICO BULK DE LA PROBETA (13 / 16)	gr/cc.	2.397	2.398	2.397	2.397
18	PESO ESPECIFICO MAXIMO (ENSAYO RICE)	gr/cc.	2.533	2.533	2.533	2.533
19	MAXIMA DENSIDAD TEORICA $100((2/6)+(3/P8)+4/P10)+5/P11))$	gr/cc.	2.519	2.519	2.519	
20	% DE VACIOS $100*((18-17)/18)$	%	5.36	5.30	5.34	5.32
21	PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL $(3+4+5)/((3/7)+(4/9)+(5/11))$	gr/cc.	2.697	2.697	2.697	
22	PESO ESPECIFICO APARENTE DEL AGREGADO TOTAL $(3+4+5)/((3/8)+(4/10)+(5/11))$	gr/cc.	2.761	2.761	2.761	
23	PESO ESPECIFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL $(3+4+5)/((3/P8)+(4/P10)+(5/P11))$	gr/cc.	2.729	2.729	2.729	
24	C.A ABSORVIDO POR EL PESO DEL AGREGADO SECO $(23-21)/(23*21)*6*100$	%	0.44	0.44	0.44	
25	% DEL VOLUMEN DEL AGREGADO / VOLUMEN BRUTO DE LA PROBETA $((3+4+5)*17)/21$	%	84.42	84.47	84.44	
26	% DEL VOLUMEN DEL C.A EFECTIVO / VOLUMEN DE PROBETA $(100-(25+20))$	%	10.22	10.23	10.22	
27	% VACIOS DEL AGREGADO MINERAL (100 - 25)	%	15.58	15.53	15.56	15.55
28	C.A EFECTIVO / PESO DE LA MEZCLA $(2-(24/100)*(3+4+5))$	%	4.58	4.58	4.58	
29	RELACION ASFALTO - VACIOS $(26/27)*100$	%	65.60	65.84	65.68	65.76
30	RELACIÓN POLVO ASFALTO		1.17	1.17	1.17	1.17
31	LECTURA DEL ARO	Kg.	308	310	315	313
32	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	kg.	1363	1372	1393	
33	FACTOR DE ESTABILIDAD		1.00	1.00	1.00	
34	ESTABILIDAD CORREGIDA (31 X 32)	kg.	1363	1372	1393	1376
35	LECTURA DEL FLEXIMETRO (36 / 25.4 X 100)	pulg.	13.39	12.99	13.78	13.39
36	FLUENCIA	mm.	3.40	3.30	3.50	3.40
37	RELACION ESTABILIDAD / FLUENCIA (33/ 35)	kg/cm.	4008	4156	3981	4069

Anexo n° 25. Ensayo Marshall Convencional 60/70 (5.5%)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS						
PROYECTO	TESIS		HECHO POR	Gerardo Villafana H.		
ESTRUCTURA	PAVIMENTO		HECHO POR	Mauricio Ramirez V.		
MATERIAL	MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE		FECHA	7-Feb-19		
GRADACION	DISEÑO ASTM D-3515 - D5					
UBICACIÓN						
ENSAYO MARSHALL (ASTM D 1559)						
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	MUESTRA			PROMEDIO
1	NUMERO DE PROBETA	Nº	1	2	3	
2	C.A EN PESO DE LA MEZCLA	%	5.50	5.50	5.50	
3	% DE GRAVA TRITURADA EN PESO DE LA MEZCLA	%	41.74	41.74	41.74	
4	% DE ARENA COMBINADA EN PESO DE LA MEZCLA	%	52.76	52.76	52.76	
5	% DE FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%				
6	PESO ESPECIFICO APARENTE DE CEMENTO ASFALTICO	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	PESO ESPECIFICO BULK DE LA GRAVA TRITURADA	gr/cc.	2.704	2.704	2.704	
8	PESO ESPECIFICO APARENTE DE LA GRAVA TRITURADA	gr/cc.	2.774	2.774	2.774	2.739
9	PESO ESPECIFICO BULK DE LA ARENA COMBINADA	gr/cc.	2.692	2.692	2.692	
10	PESO ESPECIFICO APARENTE DE LA ARENA COMBINADA	gr/cc.	2.750	2.750	2.750	2.721
11	PESO ESPECIFICO APARENTE DEL FILLER	gr/cc.				
12	ALTURA PROMEDIO DE LA PROBETA	cm.				
13	PESO DE LA PROBETA EN EL AIRE	gr.	1233.6	1229.8	1232.1	
14	PESO DE PROBETA SATURADA	gr.	1234.9	1231.2	1233.2	
15	PESO DE LA PROBETA EN EL AGUA	gr.	728.3	725.4	726.7	
16	VOLUMEN DE LA PROBETA (14 - 15)	c.c	506.6	505.8	506.5	
17	PESO ESPECIFICO BULK DE LA PROBETA (13 / 16)	gr/cc.	2.435	2.431	2.433	2.433
18	PESO ESPECIFICO MAXIMO (ENSAYO RICE)	gr/cc.	2.520	2.520	2.520	2.520
19	MAXIMA DENSIDAD TEORICA $100((2/6)+(3/P8)+4/P10)+5/P11)$	gr/cc.	2.500	2.500	2.500	
20	% DE VACIOS $100*((18-17)/18)$	%	3.39	3.53	3.49	3.47
21	PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL $(3+4+5)/((3/7)+(4/9)+(5/11))$	gr/cc.	2.697	2.697	2.697	
22	PESO ESPECIFICO APARENTE DEL AGREGADO TOTAL $(3+4+5)/((3/8)+(4/10)+(5/11))$	gr/cc.	2.761	2.761	2.761	
23	PESO ESPECIFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL $(3+4+5)/((3/P8)+(4/P10)+(5/P11))$	gr/cc.	2.729	2.729	2.729	
24	C.A ABSORVIDO POR EL PESO DEL AGREGADO SECO $(23-21)/(23*21)*6*100$	%	0.44	0.44	0.44	
25	% DEL VOLUMEN DEL AGREGADO / VOLUMEN BRUTO DE LA PROBETA $((3+4+5)*17)/21$	%	85.31	85.19	85.23	
26	% DEL VOLUMEN DEL C.A EFECTIVO / VOLUMEN DE PROBETA $(100-(25+20))$	%	11.30	11.28	11.29	
27	% VACIOS DEL AGREGADO MINERAL (100 - 25)	%	14.69	14.81	14.77	14.76
28	C.A EFECTIVO / PESO DE LA MEZCLA $(2-(24/100)*(3+4+5))$	%	5.08	5.08	5.08	
29	RELACION ASFALTO - VACIOS $(26/27)*100$	%	76.93	76.15	76.40	76.49
30	RELACION POLVO ASFALTO		1.06	1.06	1.06	1.06
31	LECTURA DEL ARO	Kg.	310	320	310	313
32	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	kg.	1372	1415	1372	
33	FACTOR DE ESTABILIDAD		1.04	1.04	1.04	
34	ESTABILIDAD CORREGIDA (31 X 32)	kg.	1426	1472	1426	1442
35	LECTURA DEL FLEXIMETRO (36 / 25.4 X 100)	pulg.	14.57	14.17	14.17	14.30
36	FLUENCIA	mm.	3.70	3.60	3.60	3.63
37	RELACION ESTABILIDAD / FLUENCIA (33/ 35)	kg/cm.	3855	4089	3962	3969

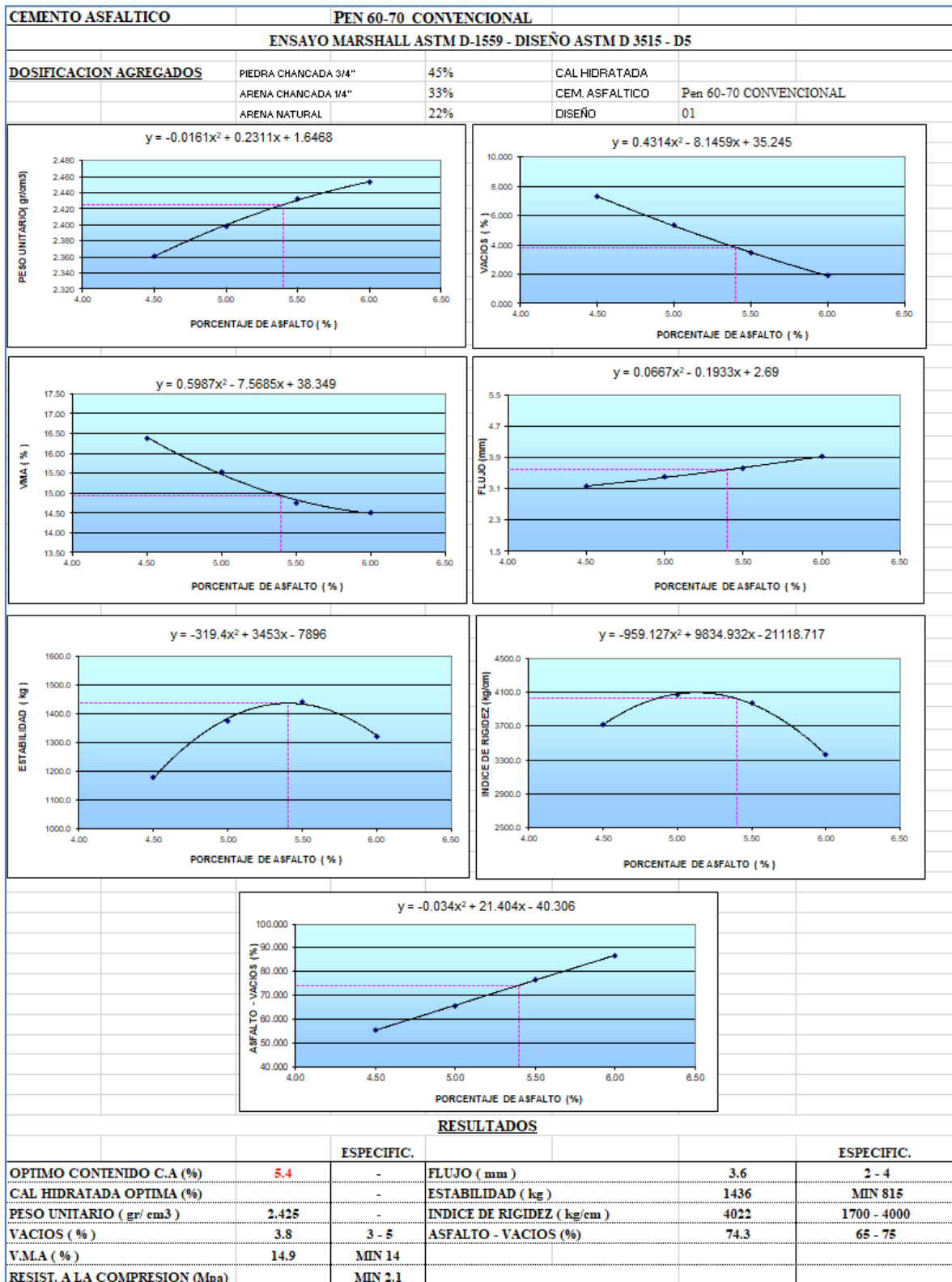
Anexo n° 26. Ensayo Marshall Convencional 60/70 (6.0%)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS						
PROYECTO	TESIS			HECHO POR	Gerardo Villafana H.	
ESTRUCTURA	PAVIMENTO			HECHO POR	Mauricio Ramirez V.	
MATERIAL	MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE			FECHA	7-Feb-19	
GRADACION	DISEÑO ASTM D-3515 - D5					
UBICACIÓN						
ENSAYO MARSHALL (ASTM D 1559)						
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	MUESTRA			PROMEDIO
1	NUMERO DE PROBETA	N°	1	2	3	
2	C.A EN PESO DE LA MEZCLA	%	6.00	6.00	6.00	
3	% DE GRAVA TRITURADA EN PESO DE LA MEZCLA	%	41.52	41.52	41.52	
4	% DE ARENA COMBINADA EN PESO DE LA MEZCLA	%	52.48	52.48	52.48	
5	% DE FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%				
6	PESO ESPECIFICO APARENTE DE CEMENTO ASFALTICO	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	PESO ESPECIFICO BULK DE LA GRAVA TRITURADA	gr/cc.	2.704	2.704	2.704	
8	PESO ESPECIFICO APARENTE DE LA GRAVA TRITURADA	gr/cc.	2.774	2.774	2.774	2.739
9	PESO ESPECIFICO BULK DE LA ARENA COMBINADA	gr/cc.	2.692	2.692	2.692	
10	PESO ESPECIFICO APARENTE DE LA ARENA COMBINADA	gr/cc.	2.750	2.750	2.750	2.721
11	PESO ESPECIFICO APARENTE DEL FILLER	gr/cc.				
12	ALTURA PROMEDIO DE LA PROBETA	cm.				
13	PESO DE LA PROBETA EN EL AIRE	gr.	1225.8	1230.4	1229.8	
14	PESO DE PROBETA SATURADA	gr.	1226.3	1231.0	1230.3	
15	PESO DE LA PROBETA EN EL AGUA	gr.	727.0	729.0	728.9	
16	VOLUMEN DE LA PROBETA (14 - 15)	c.c	499.3	502.0	501.4	
17	PESO ESPECIFICO BULK DE LA PROBETA (13 / 16)	gr/cc.	2.455	2.451	2.453	2.453
18	PESO ESPECIFICO MAXIMO (ENSAYO RICE)	gr/cc.	2.501	2.501	2.501	2.501
19	MAXIMA DENSIDAD TEORICA $100 \frac{(2/6)+(3/P8)+4/P10+5/P11}{(18-17)}$	gr/cc.	2.481	2.481	2.481	
20	% DE VACIOS $100 * \frac{(18-17)}{18}$	%	1.82	1.98	1.91	1.91
21	PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL $(3+4+5) \frac{(3/7)+(4/9)+(5/11)}{(3/8)+(4/10)+(5/11)}$	gr/cc.	2.697	2.697	2.697	
22	PESO ESPECIFICO APARENTE DEL AGREGADO TOTAL $(3+4+5) \frac{(3/8)+(4/10)+(5/11)}{(3/8)+(4/10)+(5/11)}$	gr/cc.	2.761	2.761	2.761	
23	PESO ESPECIFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL $(3+4+5) \frac{(3/P8)+(4/P10)+(5/P11)}{(3/P8)+(4/P10)+(5/P11)}$	gr/cc.	2.729	2.729	2.729	
24	C.A ABSORVIDO POR EL PESO DEL AGREGADO SECO $(23-21) / (23*21) * 6 * 100$	%	0.44	0.44	0.44	
25	% DEL VOLUMEN DEL AGREGADO / VOLUMEN BRUTO DE LA PROBETA $(3+4+5) * 17 / 21$	%	85.56	85.42	85.48	
26	% DEL VOLUMEN DEL C.A EFECTIVO / VOLUMEN DE PROBETA $(100 - (25+20))$	%	12.62	12.60	12.61	
27	% VACIOS DEL AGREGADO MINERAL (100 - 25)	%	14.44	14.58	14.52	14.51
28	C.A EFECTIVO / PESO DE LA MEZCLA $(2 - (24/100)) * (3+4+5)$	%	5.58	5.58	5.58	
29	RELACION ASFALTO - VACIOS $(26/27) * 100$	%	87.38	86.39	86.81	86.9
30	RELACIÓN POLVO ASFALTO		0.96	0.96	0.96	0.96
31	LECTURA DEL ARO	Kg.	290	280	265	278
32	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	kg.	1284	1240	1174	
33	FACTOR DE ESTABILIDAD		1.04	1.04	1.14	
34	ESTABILIDAD CORREGIDA (31 X 32)	kg.	1335	1289	1338	1321
35	LECTURA DEL FLEXIMETRO (36 / 25.4 X 100)	pulg.	15.35	15.75	15.35	15.5
36	FLUENCIA	mm.	3.90	4.00	3.90	3.93
37	RELACION ESTABILIDAD / FLUENCIA (33/ 35)	kg/cm.	3423	3223	3431	3359

Anexo n° 27. Peso Específico Teórico Máximo

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS					
PROYECTO	TESIS				
ESTRUCTURA	PAVIMENTO	HECHO POR	Gerardo Villafana H.		
MATERIAL	MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE	HECHO POR	Mauricio Ramirez V.		
GRADACION	DISEÑO ASTM D-3515 - D5	FECHA	07/02/19		
UBICACIÓN					
GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLA BITUMINOSA (ASTM D 2041)					
N° MUESTRA		1	2	3	4
CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO	UNIDAD	4.50%	5.00%	5.50%	6.00%
1 PESO DEL FRASCO	gr.	6000.0	6000.0	6000.0	6000.0
2 PESO DEL FRASCO + AGUA	gr.	3510.0	3510.0	3510.0	3510.0
3 PESO NETO DE LA MUESTRA	gr.	1229.6	1227.8	1226.7	1224.8
4 PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	gr.	4257.0	4253.0	4250.0	4245.0
5 DIFERENCIA DEL PESO (4) - (3)	gr	3027.4	3025.2	3023.3	3020.2
6 AGUA DESPLAZADA (2) - (5)	cc	482.6	484.8	486.7	489.8
7 PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (3) / (6)	gr/cc	2.548	2.533	2.520	2.501
Observaciones	Ensayos realizados con las siguientes proporciones:				
		Grava Chancada de 3/4"	45.0%		
		Arena Chancada de 3/8"	33.0%		
		Arena Zarandeada de 3/8"	22.0%		

Anexo n° 28. Gráficos Método Marshall Diseño Convencional



Anexo n° 29. Resumen Método Marshall Diseño Convencional

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS										
PROYECTO	TESIS									
ESTRUCTURA	PAVIMENTO						HECHO POR	Gerardo Villafana H.		
MATERIAL	MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE						HECHO POR	Mauricio Ramirez V.		
GRADACION	DISEÑO ASTM D-3515 - D5						FECHA	7-Feb-19		
UBICACIÓN										
CEMENTO ASFALTICO	PEN 60/70 CONVENCIONAL									
CUADRO RESUMEN DE ENSAYO MARSHALL										
ITEM	*A.C.	DENSIDAD	RICE ASTM D-2041	% VACIOS DE MEZCLA	V.M.A	% VACIOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD	FLUJO	INDICE DE RIGIDEZ	
	%	gr/cc		%	%	%	Kg.	mm	Kg/cm	
1	4.5	2.361	2.548	7.3	16.4	55.4	1177	3.2	3719	
2	5.0	2.397	2.533	5.3	15.5	65.8	1376	3.4	4069	
3	5.5	2.433	2.520	3.5	14.8	76.5	1442	3.6	3969	
4	6.0	2.453	2.501	1.9	14.5	86.9	1321	3.9	3359	
RESULTADOS DE DISEÑO										
5	5.4	2.425		3.8	14.9	74.3	1436	3.6	4022	
COMPROBACION DE DISEÑO										
6	5.4	2.433	2.529	3.8	14.7	74.2	1373	3.5	3962	
ESPECIFICACIONES TECNICAS										
				3` - 5	14,0 MIN	65 - 75	815 Kg, MIN	2` - 4	1700 - 4000	
<p>Observaciones:</p> <p>De acuerdo a los resultados se propone realizar una comprobacion con 5.4%, para establecer una mayor aproximacion a lo propuesto en las Especificaciones Tecnicas</p>										

Anexo n° 30. Comprobación del Óptimo Contenido de Asfalto Diseño Convencional

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS						
PROYECTO	TESIS			HECHO POR	Gerardo Villafana H.	
ESTRUCTURA	PAVIMENTO			HECHO POR	Mauricio Ramirez V.	
MATERIAL	MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE			FECHA	7-Feb-19	
GRADACION	DISEÑO ASTM D-3515 - D5					
UBICACIÓN						
ENSAYO MARSHALL (ASTM D 1559)						
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	MUESTRA			PROMEDIO
1	NUMERO DE PROBETA	N°	1	2	3	
2	C.A EN PESO DE LA MEZCLA	%	5.40	5.40	5.40	
3	% DE GRAVA TRITURADA EN PESO DE LA MEZCLA	%	41.79	41.79	41.79	
4	% DE ARENA COMBINADA EN PESO DE LA MEZCLA	%	52.81	52.81	52.81	
5	% DE FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%				
6	PESO ESPECIFICO APARENTE DE CEMENTO ASFALTICO	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	PESO ESPECIFICO BULK DE LA GRAVA TRITURADA	gr/cc.	2.704	2.704	2.704	
8	PESO ESPECIFICO APARENTE DE LA GRAVA TRITURADA	gr/cc.	2.774	2.774	2.774	2.739
9	PESO ESPECIFICO BULK DE LA ARENA COMBINADA	gr/cc.	2.692	2.692	2.692	
10	PESO ESPECIFICO APARENTE DE LA ARENA COMBINADA	gr/cc.	2.750	2.750	2.750	2.721
11	PESO ESPECIFICO APARENTE DEL FILLER	gr/cc.				
12	ALTURA PROMEDIO DE LA PROBETA	cm.				
13	PESO DE LA PROBETA EN EL AIRE	gr.	1232.60	1234.70	1232.70	
14	PESO DE PROBETA SATURADA	gr.	1233.40	1235.70	1233.40	
15	PESO DE LA PROBETA EN EL AGUA	gr.	727.70	727.60	726.50	
16	VOLUMEN DE LA PROBETA (14 - 15)	c.c	505.70	508.10	506.90	
17	PESO ESPECIFICO BULK DE LA PROBETA (13 / 16)	gr/cc.	2.437	2.430	2.432	2.433
18	PESO ESPECIFICO MAXIMO (ENSAYO RICE)	gr/cc.	2.529	2.529	2.529	2.529
19	MAXIMA DENSIDAD TEORICA $100((2/6)+(3/P8)+4/P10)+5/P11))$	gr/cc.	2.504	2.504	2.504	
20	% DE VACIOS $100*((18-17)/18)$	%	3.61	3.91	3.83	3.78
21	PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL $(3+4+5)/((3/7)+(4/9)+(5/11))$	gr/cc.	2.697	2.697	2.697	2.697
22	PESO ESPECIFICO APARENTE DEL AGREGADO TOTAL $(3+4+5)/((3/8)+(4/10)+(5/11))$	gr/cc.	2.761	2.761	2.761	
23	PESO ESPECIFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL $(3+4+5)/((3/P8)+(4/P10)+(5/P11))$	gr/cc.	2.729	2.729	2.729	2.729
24	C.A ABSORVIDO POR EL PESO DEL AGREGADO SECO $(23-21)/(23*21)*6*100$	%	0.44	0.44	0.44	0.44
25	% DEL VOLUMEN DEL AGREGADO / VOLUMEN BRUTO DE LA PROBETA $((3+4+5)*17)/21$	%	85.49	85.23	85.29	
26	% DEL VOLUMEN DEL C.A EFECTIVO / VOLUMEN DE PROBETA $(100-(25+20))$	%	10.90	10.87	10.87	
27	% VACIOS DEL AGREGADO MINERAL (100 - 25)	%	14.51	14.77	14.71	14.66
28	C.A EFECTIVO / PESO DE LA MEZCLA $(2-(24/100))*(3+4+5)$	%	4.98	4.98	4.98	4.98
29	RELACION ASFALTO - VACIOS $(26/27)*100$	%	75.10	73.56	73.93	74.19
30	RELACION POLVO ASFALTO		1.08	1.08	1.08	1.08
31	LECTURA DEL ARO	Kg.	300	295	300	298
32	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	kg.	1328	1306	1328	
33	FACTOR DE ESTABILIDAD		1.04	1.04	1.04	
34	ESTABILIDAD CORREGIDA (31 X 32)	kg.	1381	1358	1381	1373
35	LECTURA DEL FLEXIMETRO (36 / 25.4 X 100)	pulg.	13.39	13.78	13.78	13.65
36	FLUENCIA	mm.	3.40	3.50	3.50	3.47
37	RELACION ESTABILIDAD / FLUENCIA (33/ 35)	kg/cm.	4061	3880	3945	3962

Anexo n° 31. Comprobación Peso Específico Teórico Máximo

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS						
PROYECTO TESIS						
ESTRUCTURA PAVIMENTO			HECHO POR		Gerardo Villafana H.	
MATERIAL MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE			HECHO POR		Mauricio Ramirez V.	
GRADACION DISEÑO ASTM D-3515 - D5			FECHA		7-Feb-19	
UBICACIÓN						
GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLA BITUMINOSA (ASTM D 2041)						
N° MUESTRA	UNIDAD	1				
CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO		5.40%				
1 PESO DEL FRASCO	gr.					
2 PESO DEL FRASCO +AGUA	gr.	3510.0				
3 PESO NETO DE LA MUESTRA	gr.	1229.0				
4 PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	gr.	4253.0				
5 DIFERENCIA DEL PESO (4) - (3)	gr	3024.0				
6 AGUA DESPLAZADA (2) - (5)	cc	486.0				
7 PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (3)/(6)	gr/cc	2.529				
Observaciones Ensayos realizados con las siguientes proporciones:						

Grava Chancada de 3/4" 45.0%						

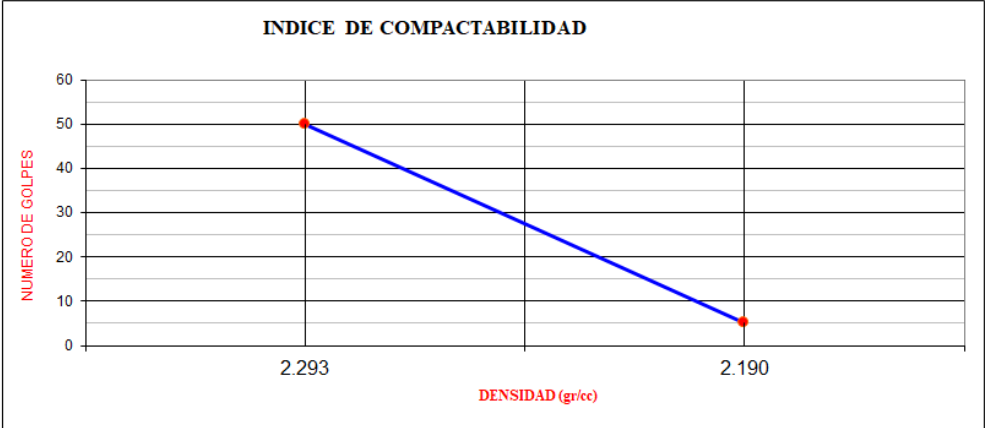
Arena Chancada de 3/8" 33.0%						

Arena Zarandeada de 3/8" 22.0%						

Anexo n° 32. Estabilidad Retenida Diseño Convencional

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS								
PROYECTO		TESIS		HECHO POR			Gerardo Villafana H.	
ESTRUCTURA		PAVIMENTO		HECHO POR			Mauricio Ramirez V.	
MATERIAL		MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE		FECHA			9-Feb-19	
GRADACION		DISEÑO ASTM D-3515 - D5						
UBICACIÓN								
ENSAYO DE ESTABILIDAD RETENIDA (24 HORAS)								
N° DE PROBETAS	UNIDAD	01	02	03	04	05	06	
1	Contenido de Cemento Asfáltico	5.40	5.40	5.40	5.40	5.40	5.40	5.40
2	Peso Probeta al Aire	gr. 1232.60	1234.70	1232.70	1230.4	1232.6	1233.3	
3	Peso de la Probeta Saturada	gr. 1233.40	1235.70	1233.40	1231.2	1233.3	1234.0	
4	Peso de la Probeta en el Agua	gr. 727.70	727.60	726.50	725.6	726.8	727.1	
5	Volumen de la Probeta	cc 505.7	508.1	506.9	505.6	506.5	506.9	
6	Peso Especifico Bulk de la Probeta	gr/cc. 2.437	2.430	2.432	2.434	2.434	2.433	
7	Lectura del Dial Anillo Marshall	Kg. 345	345	345	260	255	268	
8	Estabilidad sin corregir	Kg. 1525	1525	1525	1152	1130	1187	
9	Factor Estabilidad	Kg. 1.04	1.00	1.04	1.04	1.04	1.04	
10	Estabilidad corregida (kg)	Kg. 1586.3	1525.3	1586.3	1198.0	1175.2	1234.6	
11	Promedio Estabilidad (30 Minutos) (kg)	Kg.	1566					
12	Promedio Estabilidad (24 Horas)	Kg.				1202.6		
13	Estabilidad Retenida (%)	%			77			

Anexo n° 33. Índice de Compactabilidad Diseño Convencional

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS											
PROYECTO	TESIS			HECHO POR	Gerardo Villafana H.						
ESTRUCTURA	PAVIMENTO			HECHO POR	Mauricio Ramirez V.						
MATERIAL	MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE			FECHA	7-Feb-19						
GRADACION	DISEÑO ASTM D-3515 - D5										
UBICACIÓN											
ENSAYO MARSHALL (ASTM D 1559)											
											
DESCRIPCION	UNIDAD	MUESTRAS									
N° DE MUESTRA	N°	1	2	3	4	5	6				
N° GOLPES MARSHALL		50	50	50	5	5	5				
1.- PESO BRIQUETA AL AIRE	gr.	1218.1	1214.0	1227.7	1227.8	1222.1	1217.5				
2.- PESO BRIQUETA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	gr.	1219.7	1215.0	1229.0	1249.0	1250.1	1240.8				
3.- PESO POR DESPLAZAMIENTO	gr.	689.2	683.1	691.2	670.5	668.1	658.2				
4.- VOLUMEN DE LA BRIQUETA	c.c	530.5	531.9	537.8	578.5	582.0	582.6				
5.- PESO UNITARIO (Gr./cc.)	gr/cc.	2.296	2.282	2.283	2.122	2.100	2.090				
PROMEDIOS	gr/cc.	2.287			2.104						
$\frac{1}{0.183} \text{ GEB (50) - GEB (15)}$		<table border="1"> <tr> <th>50 GOLPES</th> <th>5 GOLPES</th> </tr> <tr> <td>2.287</td> <td>2.104</td> </tr> </table>		50 GOLPES	5 GOLPES	2.287	2.104				
50 GOLPES	5 GOLPES										
2.287	2.104										
		<table border="1"> <tr> <td>IC =</td> <td>5.46</td> </tr> </table>		IC =	5.46						
IC =	5.46										

Anexo n° 34. Ensayo Marshall Modificado (4.5%)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO	TESIS	HECHO POR	Gerardo Villafana H.
ESTRUCTURA	PAVIMENTO	HECHO POR	Mauricio Ramirez V.
MATERIAL	MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE	FECHA	7-Feb-19
GRADACION	DISEÑO ASTM D-3515 - D5		
UBICACIÓN			

ENSAYO MARSHALL (ASTM D 1559)

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	MUESTRA			PROMEDIO
			1	2	3	
1	NUMERO DE PROBETA	Nº	1	2	3	
2	C.A EN PESO DE LA MEZCLA	%	4.50	4.50	4.50	
3	% DE GRAVA TRITURADA EN PESO DE LA MEZCLA	%	42.19	42.19	42.19	
4	% DE ARENA COMBINADA EN PESO DE LA MEZCLA	%	53.31	53.31	53.31	
5	% DE FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%				
6	PESO ESPECIFICO APARENTE DE CEMENTO ASFALTICO	gr/cc.	1.019	1.019	1.019	
7	PESO ESPECIFICO BULK DE LA GRAVA TRITURADA	gr/cc.	2.704	2.704	2.704	
8	PESO ESPECIFICO APARENTE DE LA GRAVA TRITURADA	gr/cc.	2.774	2.774	2.774	2.739
9	PESO ESPECIFICO BULK DE LA ARENA COMBINADA	gr/cc.	2.692	2.692	2.692	
10	PESO ESPECIFICO APARENTE DE LA ARENA COMBINADA	gr/cc.	2.750	2.750	2.750	2.721
11	PESO ESPECIFICO APARENTE DEL FILLER	gr/cc.				
12	ALTURA PROMEDIO DE LA PROBETA	cm.				
13	PESO DE LA PROBETA EN EL AIRE	gr.	1228.4	1233.2	1230.6	
14	PESO DE PROBETA SATURADA	gr.	1232.6	1237.9	1234.5	
15	PESO DE LA PROBETA EN EL AGUA	gr.	714.6	717.5	715.9	
16	VOLUMEN DE LA PROBETA (14 - 15)	c.c	518.0	520.4	518.6	
17	PESO ESPECIFICO BULK DE LA PROBETA (13 / 16)	gr/cc.	2.371	2.370	2.373	2.371
18	PESO ESPECIFICO MAXIMO (ENSAYO RICE)	gr/cc.	2.555	2.555	2.555	2.555
19	MAXIMA DENSIDAD TEORICA $100((2/6)+(3/P8)+4/P10)+5/P11)$	gr/cc.	2.537	2.537	2.537	
20	% DE VACIOS $100*((18-17)/18)$	%	7.18	7.25	7.12	7.18
21	PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL $(3+4+5)/((3/7)+(4/9)+(5/11))$	gr/cc.	2.697	2.697	2.697	
22	PESO ESPECIFICO APARENTE DEL AGREGADO TOTAL $(3+4+5)/((3/8)+(4/10)+(5/11))$	gr/cc.	2.761	2.761	2.761	
23	PESO ESPECIFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL $(3+4+5)/((3/P8)+(4/P10)+(5/P11))$	gr/cc.	2.729	2.729	2.729	
24	C.A ABSORVIDO POR EL PESO DEL AGREGADO SECO $(23-21)/(23*21)*6*100$	%	0.44	0.44	0.44	
25	% DEL VOLUMEN DEL AGREGADO / VOLUMEN BRUTO DE LA PROBETA $((3+4+5)*17)/21$	%	83.96	83.90	84.02	
26	% DEL VOLUMEN DEL C.A EFECTIVO / VOLUMEN DE PROBETA $(100-(25+20))$	%	8.86	8.85	8.86	
27	% VACIOS DEL AGREGADO MINERAL (100 - 25)	%	16.04	16.10	15.98	16.04
28	C.A EFECTIVO / PESO DE LA MEZCLA $(2-(24/100)*(3+4+5))$	%	4.08	4.08	4.08	
29	RELACION ASFALTO - VACIOS $(26/27)*100$	%	55.24	54.99	55.45	55.23
30	RELACIÓN POLVO ASFALTO		1.32	1.32	1.32	1.32
31	LECTURA DEL ARO	Kg.	390	385	400	392
32	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	kg.	1723	1701	1767	
33	FACTOR DE ESTABILIDAD		1.00	1.00	1.00	
34	ESTABILIDAD CORREGIDA (31 X 32)	kg.	1723	1701	1767	1730
35	LECTURA DEL FLEXIMETRO (36 / 25.4 X 100)	pulg.	11.81	11.81	12.20	11.94
36	FLUENCIA	mm.	3.00	3.00	3.10	3.03

Anexo n° 35. Ensayo Marshall Modificado (5.0%)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO	TESIS	HECHO POR	Gerardo Villafana H.
ESTRUCTURA	PAVIMENTO	HECHO POR	Mauricio Ramirez V.
MATERIAL	MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE	FECHA	7-Feb-19
GRADACION	DISEÑO ASTM D-3515 - D5		
UBICACIÓN			

ENSAYO MARSHALL (ASTM D 1559)

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	MUESTRA			PROMEDIO
			1	2	3	
1	NUMERO DE PROBETA	N°	1	2	3	
2	C.A EN PESO DE LA MEZCLA	%	5.00	5.00	5.00	
3	% DE GRAVA TRITURADA EN PESO DE LA MEZCLA	%	41.97	41.97	41.97	
4	% DE ARENA COMBINADA EN PESO DE LA MEZCLA	%	53.03	53.03	53.03	
5	% DE FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%				
6	PESO ESPECIFICO APARENTE DE CEMENTO ASFALTICO	gr/cc.	1.019	1.019	1.019	
7	PESO ESPECIFICO BULK DE LA GRAVA TRITURADA	gr/cc.	2.704	2.704	2.704	
8	PESO ESPECIFICO APARENTE DE LA GRAVA TRITURADA	gr/cc.	2.774	2.774	2.774	2.739
9	PESO ESPECIFICO BULK DE LA ARENA COMBINADA	gr/cc.	2.692	2.692	2.692	
10	PESO ESPECIFICO APARENTE DE LA ARENA COMBINADA	gr/cc.	2.750	2.750	2.750	2.721
11	PESO ESPECIFICO APARENTE DEL FILLER	gr/cc.				
12	ALTURA PROMEDIO DE LA PROBETA	cm.				
13	PESO DE LA PROBETA EN EL AIRE	gr.	1234.6	1232.5	1234.8	
14	PESO DE PROBETA SATURADA	gr.	1237.4	1235.1	1237.7	
15	PESO DE LA PROBETA EN EL AGUA	gr.	722.7	722.1	723.3	
16	VOLUMEN DE LA PROBETA (14 - 15)	c.c	514.7	513.0	514.4	
17	PESO ESPECIFICO BULK DE LA PROBETA (13 / 16)	gr/cc.	2.399	2.403	2.400	2.401
18	PESO ESPECIFICO MAXIMO (ENSAYO RICE)	gr/cc.	2.535	2.535	2.535	2.535
19	MAXIMA DENSIDAD TEORICA $100((2/6)+(3/P8)+(4/P10)+(5/P11))$	gr/cc.	2.518	2.518	2.518	
20	% DE VACIOS $100*((18-17)/18)$	%	5.38	5.23	5.31	5.27
21	PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL $(3+4+5)/((3/7)+(4/9)+(5/11))$	gr/cc.	2.697	2.697	2.697	
22	PESO ESPECIFICO APARENTE DEL AGREGADO TOTAL $(3+4+5)/((3/8)+(4/10)+(5/11))$	gr/cc.	2.761	2.761	2.761	
23	PESO ESPECIFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL $(3+4+5)/((3/P8)+(4/P10)+(5/P11))$	gr/cc.	2.729	2.729	2.729	
24	C.A ABSORVIDO POR EL PESO DEL AGREGADO SECO $(23-21)/(23*21)*6*100$	%	0.44	0.44	0.44	
25	% DEL VOLUMEN DEL AGREGADO / VOLUMEN BRUTO DE LA PROBETA $((3+4+5)*17)/21$	%	84.48	84.62	84.55	
26	% DEL VOLUMEN DEL C.A EFECTIVO / VOLUMEN DE PROBETA $(100-(25+20))$	%	10.13	10.15	10.14	
27	% VACIOS DEL AGREGADO MINERAL (100 - 25)	%	15.52	15.38	15.45	15.42
28	C.A EFECTIVO / PESO DE LA MEZCLA $(2-(24/100)*(3+4+5))$	%	4.58	4.58	4.58	
29	RELACION ASFALTO - VACIOS $(26/27)*100$	%	65.31	65.99	65.63	65.81
30	RELACIÓN POLVO ASFALTO		1.17	1.17	1.17	1.17
31	LECTURA DEL ARO	Kg.	440	445	450	448
32	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	kg.	1943	1964	1986	
33	FACTOR DE ESTABILIDAD		1.00	1.00	1.00	
34	ESTABILIDAD CORREGIDA (31 X 32)	kg.	1943	1964	1986	1964
35	LECTURA DEL FLEXIMETRO (36 / 25.4 X 100)	pulg.	12.60	12.60	12.99	12.80
36	FLUENCIA	mm.	3.20	3.20	3.30	3.25

Anexo n° 36. Ensayo Marshall Modificado (5.5%)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO	TESIS	HECHO POR	Gerardo Villafana H.
ESTRUCTURA	PAVIMENTO	HECHO POR	Mauricio Ramírez V.
MATERIAL	MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE	FECHA	7-Feb-19
GRADACION	DISEÑO ASTM D-3515 - D5		
UBICACIÓN			

ENSAYO MARSHALL (ASTM D 1559)

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	MUESTRA			PROMEDIO
1	NUMERO DE PROBETA	Nº	1	2	3	
2	C.A EN PESO DE LA MEZCLA	%	5.50	5.50	5.50	
3	% DE GRAVA TRITURADA EN PESO DE LA MEZCLA	%	41.74	41.74	41.74	
4	% DE ARENA COMBINADA EN PESO DE LA MEZCLA	%	52.76	52.76	52.76	
5	% DE FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%				
6	PESO ESPECIFICO APARENTE DE CEMENTO ASFALTICO	gr/cc.	1.019	1.019	1.019	
7	PESO ESPECIFICO BULK DE LA GRAVA TRITURADA	gr/cc.	2.704	2.704	2.704	
8	PESO ESPECIFICO APARENTE DE LA GRAVA TRITURADA	gr/cc.	2.774	2.774	2.774	2.739
9	PESO ESPECIFICO BULK DE LA ARENA COMBINADA	gr/cc.	2.692	2.692	2.692	
10	PESO ESPECIFICO APARENTE DE LA ARENA COMBINADA	gr/cc.	2.750	2.750	2.750	2.721
11	PESO ESPECIFICO APARENTE DEL FILLER	gr/cc.				
12	ALTURA PROMEDIO DE LA PROBETA	cm.				
13	PESO DE LA PROBETA EN EL AIRE	gr.	1229.4	1234.6	1231.1	
14	PESO DE PROBETA SATURADA	gr.	1230.6	1235.9	1232.3	
15	PESO DE LA PROBETA EN EL AGUA	gr.	726.3	728.4	726.7	
16	VOLUMEN DE LA PROBETA (14 - 15)	c.c	504.3	507.5	505.6	
17	PESO ESPECIFICO BULK DE LA PROBETA (13 / 16)	gr/cc.	2.438	2.433	2.435	2.435
18	PESO ESPECIFICO MAXIMO (ENSAYO RICE)	gr/cc.	2.515	2.515	2.515	2.515
19	MAXIMA DENSIDAD TEORICA $100((2/6)+(3/P8)+4/P10)+5/P11)$	gr/cc.	2.499	2.499	2.499	
20	% DE VACIOS $100*((18-17)/18)$	%	3.05	3.26	3.17	3.16
21	PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL $(3+4+5)/((3/7)+(4/9)+(5/11))$	gr/cc.	2.697	2.697	2.697	
22	PESO ESPECIFICO APARENTE DEL AGREGADO TOTAL $(3+4+5)/((3/8)+(4/10)+(5/11))$	gr/cc.	2.761	2.761	2.761	
23	PESO ESPECIFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL $(3+4+5)/((3/P8)+(4/P10)+(5/P11))$	gr/cc.	2.729	2.729	2.729	
24	C.A ABSORVIDO POR EL PESO DEL AGREGADO SECO $(23-21)/(23*21)*6*100$	%	0.44	0.44	0.44	
25	% DEL VOLUMEN DEL AGREGADO / VOLUMEN BRUTO DE LA PROBETA $((3+4+5)*17)/21$	%	85.41	85.23	85.31	
26	% DEL VOLUMEN DEL C.A EFECTIVO / VOLUMEN DE PROBETA $(100-(25+20))$	%	11.53	11.51	11.52	
27	% VACIOS DEL AGREGADO MINERAL $(100 - 25)$	%	14.59	14.77	14.69	14.68
28	C.A EFECTIVO / PESO DE LA MEZCLA $(2-(24/100)*(3+4+5))$	%	5.08	5.08	5.08	
29	RELACION ASFALTO - VACIOS $(26/27)*100$	%	79.07	77.94	78.43	78.48
30	RELACION POLVO ASFALTO		1.06	1.06	1.06	1.06
31	LECTURA DEL ARO	Kg.	440	455	450	448
32	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	kg.	1943	2008	1986	
33	FACTOR DE ESTABILIDAD		1.04	1.04	1.04	
34	ESTABILIDAD CORREGIDA $(31 X 32)$	kg.	2020	2089	2066	2058
35	LECTURA DEL FLEXIMETRO $(36 / 25.4 X 100)$	pulg.	14.17	13.78	13.78	13.91
36	FLUENCIA	mm.	3.60	3.50	3.50	3.53

Anexo n° 37. Ensayo Marshall Modificado (6.0%)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO	TESIS	HECHO POR	Gerardo Villafana H.
ESTRUCTURA	PAVIMENTO	HECHO POR	Mauricio Ramirez V.
MATERIAL	MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE	FECHA	7-Feb-19
GRADACION	DISEÑO ASTM D-3515 - D5		
UBICACIÓN			

ENSAYO MARSHALL (ASTM D 1559)

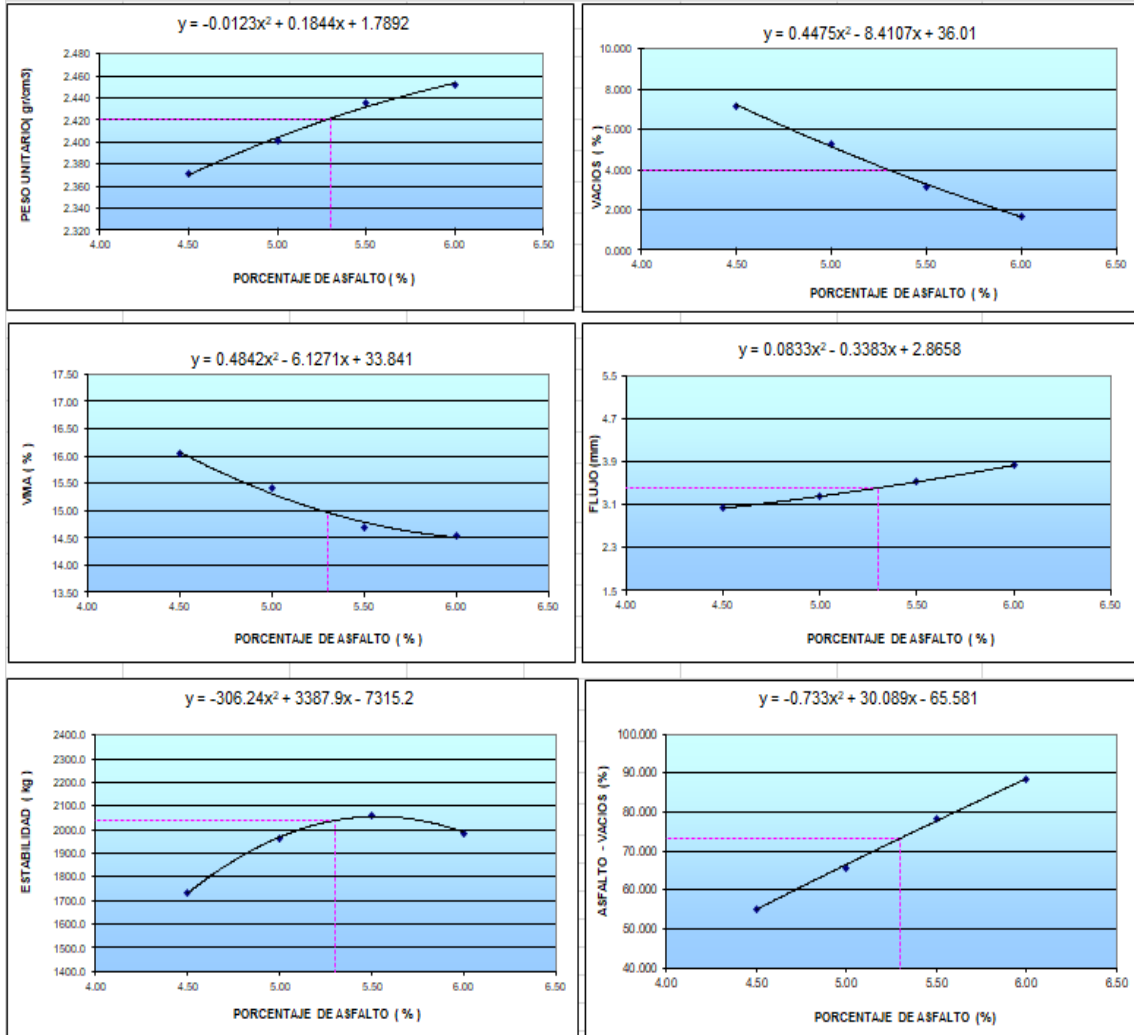
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	MUESTRA			PROMEDIO
1	NUMERO DE PROBETA	Nº	1	2	3	
2	C.A EN PESO DE LA MEZCLA	%	6.00	6.00	6.00	
3	% DE GRAVA TRITURADA EN PESO DE LA MEZCLA	%	41.52	41.52	41.52	
4	% DE ARENA COMBINADA EN PESO DE LA MEZCLA	%	52.48	52.48	52.48	
5	% DE FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%				
6	PESO ESPECIFICO APARENTE DE CEMENTO ASFALTICO	gr/cc.	1.019	1.019	1.019	
7	PESO ESPECIFICO BULK DE LA GRAVA TRITURADA	gr/cc.	2.704	2.704	2.704	
8	PESO ESPECIFICO APARENTE DE LA GRAVA TRITURADA	gr/cc.	2.774	2.774	2.774	2.739
9	PESO ESPECIFICO BULK DE LA ARENA COMBINADA	gr/cc.	2.692	2.692	2.692	
10	PESO ESPECIFICO APARENTE DE LA ARENA COMBINADA	gr/cc.	2.750	2.750	2.750	2.721
11	PESO ESPECIFICO APARENTE DEL FILLER	gr/cc.				
12	ALTURA PROMEDIO DE LA PROBETA	cm.				
13	PESO DE LA PROBETA EN EL AIRE	gr.	1228.5	1232.1	1227.8	
14	PESO DE PROBETA SATURADA	gr.	1229.3	1232.9	1228.4	
15	PESO DE LA PROBETA EN EL AGUA	gr.	728.0	730.5	727.9	
16	VOLUMEN DE LA PROBETA (14 - 15)	c.c	501.3	502.4	500.5	
17	PESO ESPECIFICO BULK DE LA PROBETA (13 / 16)	gr/cc.	2.451	2.452	2.453	2.452
18	PESO ESPECIFICO MAXIMO (ENSAYO RICE)	gr/cc.	2.494	2.494	2.494	2.494
19	MAXIMA DENSIDAD TEORICA $100((2/6)+(3/P8)+4/P10)+5/P11)$	gr/cc.	2.479	2.479	2.479	
20	% DE VACIOS $100*((18-17)/18)$	%	1.76	1.68	1.65	1.70
21	PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL $(3+4+5)/((3/7)+(4/9)+(5/11))$	gr/cc.	2.697	2.697	2.697	
22	PESO ESPECIFICO APARENTE DEL AGREGADO TOTAL $(3+4+5)/((3/8)+(4/10)+(5/11))$	gr/cc.	2.761	2.761	2.761	
23	PESO ESPECIFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL $(3+4+5)/((3/P8)+(4/P10)+(5/P11))$	gr/cc.	2.729	2.729	2.729	
24	C.A ABSORVIDO POR EL PESO DEL AGREGADO SECO $(23-21)/(23*21)*6*100$	%	0.44	0.44	0.44	
25	% DEL VOLUMEN DEL AGREGADO / VOLUMEN BRUTO DE LA PROBETA $((3+4+5)*17)/21$	%	85.41	85.47	85.49	
26	% DEL VOLUMEN DEL C.A EFECTIVO / VOLUMEN DE PROBETA $(100-(25+20))$	%	12.84	12.85	12.85	
27	% VACIOS DEL AGREGADO MINERAL (100 - 25)	%	14.59	14.53	14.51	14.54
28	C.A EFECTIVO / PESO DE LA MEZCLA $(2-(24/100)*(3+4+5))$	%	5.58	5.58	5.58	
29	RELACION ASFALTO - VACIOS $(26/27)*100$	%	87.97	88.42	88.59	88.3
30	RELACIÓN POLVO ASFALTO		0.96	0.96	0.96	0.96
31	LECTURA DEL ARO	Kg.	440	430	390	420
32	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	kg.	1943	1899	1723	
33	FACTOR DE ESTABILIDAD		1.04	1.04	1.14	
34	ESTABILIDAD CORREGIDA (31 X 32)	kg.	2020	1975	1964	1986
35	LECTURA DEL FLEXIMETRO (36 / 25.4 X 100)	pulg.	15.35	14.96	14.96	15.1
36	FLUENCIA	mm.	3.90	3.80	3.80	3.83

Anexo n° 38. Peso Específico Teórico Máximo

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS					
PROYECTO	TESIS				
ESTRUCTURA	PAVIMENTO	HECHO POR	Gerardo Villafana H.		
MATERIAL	MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE	HECHO POR	Mauricio Ramirez V.		
GRADACION	DISEÑO ASTM D-3515 - D5	FECHA	07/02/19		
UBICACIÓN					
GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLA BITUMINOSA (ASTM D 2041)					
N° MUESTRA		1	2	3	4
CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO	UNIDAD	4.50%	5.00%	5.50%	6.00%
1 PESO DEL FRASCO	gr.	6000.0	6000.0	6000.0	6000.0
2 PESO DEL FRASCO +AGUA	gr.	3510.0	3510.0	3510.0	3510.0
3 PESO NETO DE LA MUESTRA	gr.	1225.8	1227.0	1229.4	1228.5
4 PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	gr.	4256.0	4253.0	4250.5	4246.0
5 DIFERENCIA DEL PESO (4) - (3)	gr	3030.2	3026.0	3021.1	3017.5
6 AGUA DESPLAZADA (2) - (5)	cc	479.8	484.0	488.9	492.5
7 PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (3) / (6)	gr/cc	2.555	2.535	2.515	2.494
Observaciones	Ensayos realizados con las siguientes proporciones:				
	Grava Chancada de 3/4" 45.0%				
	Arena Chancada de 3/8" 33.0%				
	Arena Zarandeada de 3/8" 22.0%				

Anexo n° 39. Gráficos Método Marshall Diseño Modificado

CEMENTO ASFALTICO	POLIMEROS BETUTEC IC			
ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559 - DISEÑO ASTM D 3515 - D5				
DOSIFICACION AGREGADOS	PIEDRA CHANCADA 3/4"	45%	CAL HIDRATADA	
	ARENA CHANCADA 3/8"	33%	CEM. ASFALTICO	POLIMEROS BETUTEC IC
	ARENA ZRANDEADA 3/8"	22%	DISEÑO	01



RESULTADOS

		ESPECIFIC.		ESPECIFIC.
OPTIMO CONTENIDO C.A (%)	5.3	-	FLUJO (mm)	3,4
CAL HIDRATADA OPTIMA (%)		-	ESTABILIDAD (kg)	2038
PESO UNITARIO (gr/ cm3)	2.421	-	INDICE DE RIGIDEZ (kg/cm)	
VACIOS (%)	4.0	3 - 5	ASFALTO - VACIOS (%)	73.3
V.M.A (%)	15.0	MIN 14		
RESIST. A LA COMPRESION (Mpa)		MIN 2.1		

Anexo n° 40. Resumen Método Marshall Diseño Modificado

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO	TESIS		
ESTRUCTURA	PAVIMENTO	HECHO POR	Gerardo Villafana H.
MATERIAL	MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE	HECHO POR	Mauricio Ramirez V.
GRADACION	DISEÑO ASTM D-3515 - D5	FECHA	7-Feb-19
UBICACIÓN			

CEMENTO ASFALTICO POLIMEROS BETUTEC IC

CUADRO RESUMEN DE ENSAYO MARSHALL

ITEM	+A.C.	DENSIDAD	RICE ASTM D-2041	% VACIOS DE MEZCLA	V.M.A	% VACIOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD	FLUJO	INDICE DE RIGIDEZ
	%	gr/cc		%	%	%	Kg.	mm	Kg/cm
1	4.5	2.371	2.555	7.2	16.0	55.2	1730	3.0	
2	5.0	2.401	2.535	5.3	15.4	65.8	1964	3.3	
3	5.5	2.435	2.515	3.2	14.7	78.5	2058	3.5	
4	6.0	2.452	2.494	1.7	14.5	88.3	1986	3.8	

RESULTADOS DE DISEÑO

5	5.3	2.421		4.0	15.0	73.3	2038	3.4	
---	-----	-------	--	-----	------	------	------	-----	--

COMPROBACION DE DISEÑO

6	5.3	2.427	2.525	3.9	14.8	73.7	1964	3.3	
---	-----	-------	-------	-----	------	------	------	-----	--

ESPECIFICACIONES TECNICAS

				3` - 5	14,0 MIN	65 - 75	815 Kg, MIN	2` - 4	
--	--	--	--	--------	----------	---------	-------------	--------	--

Observaciones:

De acuerdo a los resultados se propone realizar una comprobacion con 5.3%, para establecer una mayor aproximacion a lo propuesto en las Especificaciones Tecnicas

Anexo n° 41. Comprobación del Óptimo Contenido de Asfalto Diseño Modificado

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO	TESIS	HECHO POR	Gerardo Villafana H.
ESTRUCTURA	PAVIMENTO	HECHO POR	Mauricio Ramirez V.
MATERIAL	MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE	FECHA	7-Feb-19
GRADACION	DISEÑO ASTM D-3515 - D5		
UBICACIÓN			

ENSAYO MARSHALL (ASTM D 1559)

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	MUESTRA			PROMEDIO
			1	2	3	
1	NUMERO DE PROBETA	N°	1	2	3	
2	C.A EN PESO DE LA MEZCLA	%	5.30	5.30	5.30	
3	% DE GRAVA TRITURADA EN PESO DE LA MEZCLA	%	41.83	41.83	41.83	
4	% DE ARENA COMBINADA EN PESO DE LA MEZCLA	%	52.87	52.87	52.87	
5	% DE FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%				
6	PESO ESPECIFICO APARENTE DE CEMENTO ASFALTICO	gr/cc.	1.019	1.019	1.019	
7	PESO ESPECIFICO BULK DE LA GRAVA TRITURADA	gr/cc.	2.704	2.704	2.704	
8	PESO ESPECIFICO APARENTE DE LA GRAVA TRITURADA	gr/cc.	2.774	2.774	2.774	2.739
9	PESO ESPECIFICO BULK DE LA ARENA COMBINADA	gr/cc.	2.692	2.692	2.692	
10	PESO ESPECIFICO APARENTE DE LA ARENA COMBINADA	gr/cc.	2.750	2.750	2.750	2.721
11	PESO ESPECIFICO APARENTE DEL FILLER	gr/cc.				
12	ALTURA PROMEDIO DE LA PROBETA	cm.				
13	PESO DE LA PROBETA EN EL AIRE	gr.	1234.80	1229.80	1228.50	
14	PESO DE PROBETA SATURADA	gr.	1235.60	1231.10	1229.50	
15	PESO DE LA PROBETA EN EL AGUA	gr.	726.50	724.60	723.40	
16	VOLUMEN DE LA PROBETA (14 - 15)	c.c	509.10	506.50	506.10	
17	PESO ESPECIFICO BULK DE LA PROBETA (13 / 16)	gr/cc.	2.425	2.428	2.427	2.427
18	PESO ESPECIFICO MAXIMO (ENSAYO RICE)	gr/cc.	2.525	2.525	2.525	2.525
19	MAXIMA DENSIDAD TEORICA $100((2.6)+(3/P8)+4/P10)+5/P11)$	gr/cc.	2.506	2.506	2.506	
20	% DE VACIOS $100*((18-17)/18)$	%	3.95	3.85	3.87	3.89
21	PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL $(3+4+5)/((3/7)+(4/9)+(5/11))$	gr/cc.	2.697	2.697	2.697	2.697
22	PESO ESPECIFICO APARENTE DEL AGREGADO TOTAL $(3+4+5)/((3/8)+(4/10)+(5/11))$	gr/cc.	2.761	2.761	2.761	
23	PESO ESPECIFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL $(3+4+5)/((3/P8)+(4/P10)+(5/P11))$	gr/cc.	2.729	2.729	2.729	2.729
24	C.A ABSORVIDO POR EL PESO DEL AGREGADO SECO $(23-21)/(23*21)*6*100$	%	0.44	0.44	0.44	0.44
25	% DEL VOLUMEN DEL AGREGADO / VOLUMEN BRUTO DE LA PROBETA $((3+4+5)*17)/21$	%	85.16	85.25	85.23	
26	% DEL VOLUMEN DEL C.A EFECTIVO / VOLUMEN DE PROBETA $(100-(25+20))$	%	10.89	10.90	10.90	
27	% VACIOS DEL AGREGADO MINERAL (100 - 25)	%	14.84	14.75	14.77	14.79
28	C.A EFECTIVO / PESO DE LA MEZCLA $(2-(24/100)*(3+4+5))$	%	4.88	4.88	4.88	4.88
29	RELACION ASFALTO - VACIOS $(26/27)*100$	%	73.39	73.92	73.79	73.70
30	RELACION POLVO ASFALTO		1.11	1.11	1.11	1.11
31						

Anexo n° 42. Comprobación Peso Específico Teórico Máximo

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS						
PROYECTO TESIS						
ESTRUCTURA PAVIMENTO			HECHO POR		Gerardo Villafana H.	
MATERIAL MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE			HECHO POR		Mauricio Ramirez V.	
GRADACION DISEÑO ASTM D-3515 - D5			FECHA		7-Feb-19	
UBICACIÓN						
GRAVEDAD ESPECIFICA DE MEZCLA BITUMINOSA (ASTM D 2041)						
N° MUESTRA	UNIDAD	1				
CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO		5.30%				
1 PESO DEL FRASCO	gr.					
2 PESO DEL FRASCO + AGUA	gr.	3510.0				
3 PESO NETO DE LA MUESTRA	gr.	1228.5				
4 PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	gr.	4252.0				
5 DIFERENCIA DEL PESO (4) - (3)	gr	3023.5				
6 AGUA DESPLAZADA (2) - (5)	cc	486.5				
7 PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (3)/(6)	gr/cc	2.525				
Observaciones						
Ensayos realizados con las siguientes proporciones:						

Grava Chancada de 3/4" 45.0%						

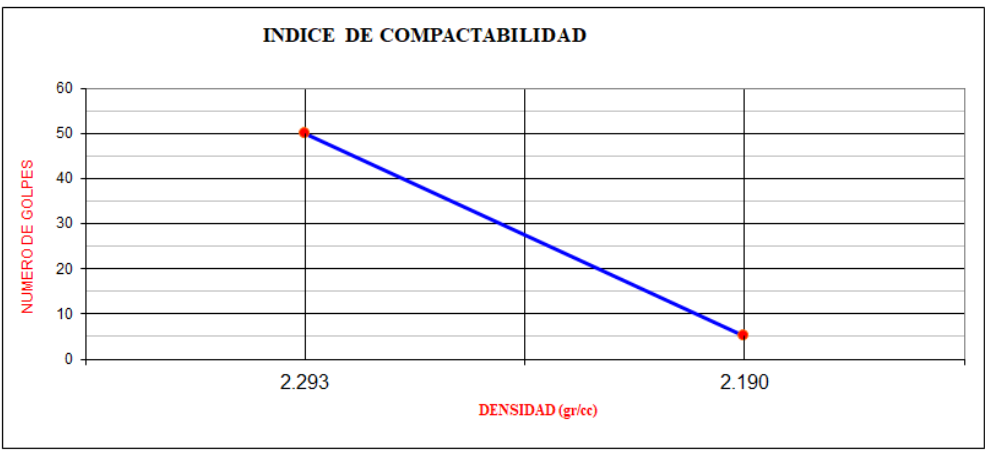
Arena Chancada de 3/8" 33.0%						

Arena Zarandeada de 3/8" 22.0%						

Anexo n° 43. Estabilidad Retenida Diseño Modificado

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS							
PROYECTO TESIS				HECHO POR		Gerardo Villafana H.	
ESTRUCTURA PAVIMENTO				HECHO POR		Mauricio Ramirez V.	
MATERIAL MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE				FECHA		9-Feb-19	
GRADACION DISEÑO ASTM D-3515 - D5							
UBICACIÓN							
ENSAYO DE ESTABILIDAD RETENIDA (24 HORAS)							
N° DE PROBETAS	UNIDAD	01	02	03	04	05	06
1	Contenido de Cemento Asfáltico	5.30	5.30	5.30	5.30	5.30	5.30
2	Peso Probeta al Aire	gr. 1234.80	1229.80	1228.50	1229.8	1235.2	1230.6
3	Peso de la Probeta Saturada	gr. 1235.60	1231.10	1229.50	1230.9	1236.7	1231.8
4	Peso de la Probeta en el Agua	gr. 726.50	724.60	723.40	725.1	729.4	726.9
5	Volumen de la Probeta	cc 509.1	506.5	506.1	505.8	507.3	504.9
6	Peso Especifico Bulk de la Probeta	gr/cc. 2.425	2.428	2.427	2.431	2.435	2.437
7	Lectura del Dial Anillo Marshall	Kg. 510	520	510	415	390	410
8	Estabilidad sin corregir	Kg. 2250	2294	2250	1833	1723	1811
9	Factor Estabilidad	Kg. 1.00	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
10	Estabilidad corregida (kg)	Kg. 2250.0	2385.6	2340.0	1906.0	1791.8	1883.2
11	Promedio Estabilidad (30 Minutos) (kg)	Kg.	2325				
12	Promedio Estabilidad (24 Horas)	Kg.				1860.3	
13	Estabilidad Retenida (%)	%			80		
OBSERVACIONES:							


Anexo n° 44. Índice de Compactabilidad Diseño Modificado

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS											
PROYECTO	TESIS			HECHO POR	Gerardo Villafana H.						
ESTRUCTURA	PAVIMENTO			HECHO POR	Mauricio Ramírez V.						
MATERIAL	MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE			FECHA	7-Feb-19						
GRADACION	DISEÑO ASTM D-3515 - D5										
UBICACIÓN											
ENSAYO MARSHALL (ASTM D 1559)											
											
DESCRIPCION	UNIDAD	MUESTRAS									
N° DE MUESTRA	N°	1	2	3	4	5	6				
N° GOLPES MARSHALL		50	50	50	5	5	5				
1.- PESO BRIQUETA AL AIRE	gr.	1221.5	1219.2	1223.9	1228.4	1225.6	1221.7				
2.- PESO BRIQUETA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	gr.	1223.6	1221.5	1228.2	1247.8	1249.0	1242.6				
3.- PESO POR DESPLAZAMIENTO	gr.	691.4	688.3	693.2	668.7	666.4	667.7				
4.- VOLUMEN DE LA BRIQUETA	c.c	532.2	533.2	535.0	579.1	582.6	574.9				
5.- PESO UNITARIO (Gr./cc.)	gr/cc.	2.295	2.287	2.288	2.121	2.104	2.125				
PROMEDIOS	gr/cc.	2.290			2.117						
$\frac{1}{0.173} \text{ GEB (50) - GEB (15)}$		<table border="1"> <thead> <tr> <th>50 GOLPES</th> <th>5 GOLPES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2.290</td> <td>2.117</td> </tr> </tbody> </table>		50 GOLPES	5 GOLPES	2.290	2.117				
50 GOLPES	5 GOLPES										
2.290	2.117										
		<table border="1"> <tr> <td>IC =</td> <td>5.78</td> </tr> </table>		IC =	5.78						
IC =	5.78										

Anexo n° 45. Certificado PEN 60/70



B5X-935 / ABX-974

9:30 P
03/02/19



LABORATORIO REFINACIÓN CONCHÁN

N° SRCO-LAB-0281-2019

INFORME DE ENSAYO (ASFALTO SÓLIDO 60/70 PEN)		N° SRCO-LAB-0281-2019			
FECHA DE REPORTE: 28.01.2019	FECHA DE RECEPCIÓN 28.01.2019	CÓDIGO DE MUESTRA : 01691			
HORA DE RECEPCIÓN: 21:50 HORAS	PROCEDENCIA: JEFATURA OPERACIONES	BUQUE/TANQUE: -----			
TANQUE DE MUESTREO : 59	VOLUMEN CERTIFICADO: -----	DESTINO: "PLANTA CONCHÁN"			
ENSAYOS	MÉTODO ASTM ^(A)	OTRO MÉTODO	RESULTADOS DEL ANÁLISIS	ESPECIFICACIONES MIN. MAX.	
PENETRACIÓN: a 25°C, 100 gr, 5 seg., 1/10 mm	D 5-13		61	60	70
DUCTILIDAD: a 25°C, 5 cm/min, cm	D 113-07		> 150	100	
FLUIDEZ:					
- Viscosidad Cinemática a 100°C, cSt	D 2170-10		3912	Reportar	
- Viscosidad Cinemática a 135°C, cSt	D 2170-10		424.4	200	
SOLUBILIDAD:					
Solubilidad en Tricloroetileno, % masa	D 2042-15		99.7	99	
VOLATILIDAD:					
Punto de Inflamación, C.O.C., °C	D 92-16b		290	232	
DENSIDAD:					
Gravedad API a 60°F, °API	D 70-09 ⁽¹⁾		6.8	Reportar	
Gravedad Específica a 60/60°F	D 70-09 ⁽¹⁾		1.023	Reportar	
SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA:					
Punto de Ablandamiento, °C	D 36-14e1		50.0	Reportar	
Índice de Penetración			-0.7	-1	+1
Efecto de Calor y Aire (Película Fina):	D 1754-09(2014)				
- Cambio de Masa, % masa del Original			0.20	0.8	
- Penetración Retenida, % del Original	D 5-13		66	52	
- Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm	D 113-07		78	50	
ADHERENCIA:					
Revestimiento y Desprendimiento, %	D 3625-12		> 95	Reportar	
OBSERVACIONES:					
1. LOS RESULTADOS CORRESPONDEN SÓLO A LA MUESTRA ANALIZADA.					
2. LA MUESTRA FUE PROPORCIONADA POR EL CLIENTE.					
La temperatura óptima de mezcla para este producto se encuentra entre 142 y 158°C					
Se adjunta Carta Viscosidad - Temperatura.					
3.(A):American Society for Testing and Materials.					
ORIGINAL : CLIENTE	ELABORADO POR:		APROBADO POR:		
COPIA 1 : ARCHIVO GENERAL DE	 Gonzalo Calderón Avila Fecha: 03/02/19		 [Stamp]		
COPIA 2: INFORME DE ENSAYO DE					

SRCOLAB-PT-010-F-06, Rev. 5

Pag 1 de 2

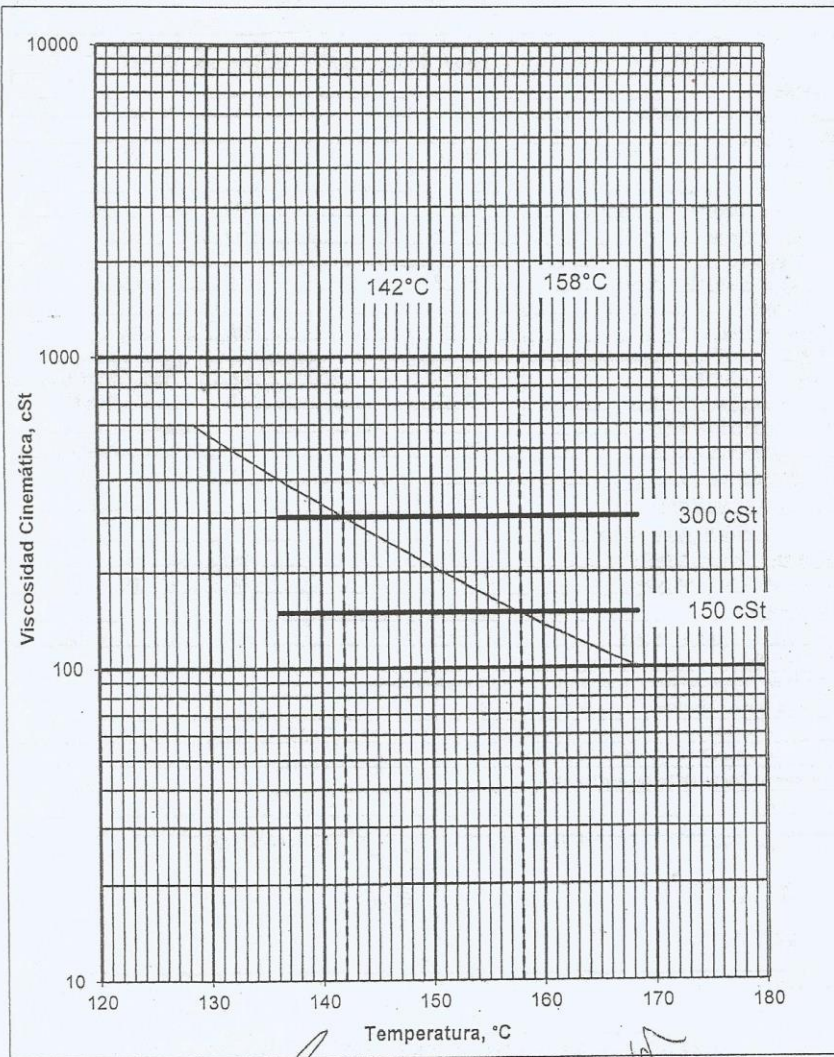
FIN DE INFORME

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN AUTORIZACIÓN DE PETROPERU



Nº SRCO-LAB-0281-2019

Carta Viscosidad - Temperatura ASTM D 341
Rango de Temperatura Optima de Mezcla
TQ. 59 - C. A. 60 / 70 PEN. - 26.01.2019 - 21:50 horas



Herón Avila
100

Pag 2 de 2

Anexo n° 46. Certificado del Betutec IC



TDM ASFALTOS

BETUTEC IC
INFORME DE ENSAYOS N° 006-2019 BETUTEC IC

GUIA TDM ASFALTOS :
CLIENTE:

GERARDO VILLAFANA

REFERENCIAS

TANQUE:

CINTILLO DE SEGURIDAD N°: ---

LOTE DE PRODUCCIÓN:

LAB

CANTIDAD:

2 GALONES

FECHA DE PRODUCCIÓN:

05.02.2019

ENSAYOS	MÉTODO ASTM	UNIDADES	ESPECIFICACIONES		RESULTADO	
			MÍNIMO	MÁXIMO		
PENETRACIÓN	5 s, 25°C	D-5	dmm	50	75	56
VISCOSIDAD ABSOLUTA	60°C	D-2171	Po	5000	--	53458
VISCOSIDAD CINEMATICA	135°C	D-2170	cSt	--	3000	1261.0
PUNTO DE INFLAMACIÓN		D-92	°C	232	--	292
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO		D-2042	%	99	--	99.63
VISCOSIDAD BROOKFIELD	135 °C	D-4402	cP	--	--	1211.0
VISCOSIDAD BROOKFIELD	145 °C	D-4402	cP	--	--	746.0
VISCOSIDAD BROOKFIELD	175 °C	D-4402	cP	--	--	230.0
RECUPERACION ELASTICA LINEAL	Método A, 10 cm, 25°C	D-6084	%	60	--	88
RECUPERACION ELASTICA LINEAL	Método A, 10 cm, 5°C	D-6084	%	--	--	60
PUNTO DE ABLANDAMIENTO		D-36	°C	60	--	69

ESTABILIDAD A ALMACENAMIENTO	163 °C, 48 horas	D-7173				
SEPARACION, DIFERENCIA		D-36	°C	--	2.2	1.3

RESIDUO DESPUÉS DE PELÍCULA FINA ROTATORIA		D-2872				
RECUPERACION ELASTICA LINEAL	Método A, 10 cm, 25°C	D-6084	%	60	--	83
PENETRACIÓN	4°C, 200 g, 60 s	D-5	dmm	13	--	29
SEPARACION, diferencia		D-36	°C	--	10	0.7

OBSERVACIONES:

La muestra de asfalto cumple especificaciones de MTC - EG 2013

No presenta espuma a 163 °C

Se adjunta Hoja de Seguridad del Producto y Hoja Resumen Art. 54 D.S. N°021-2008-MTC

CÓDIGO DE CONTRAMUESTRA: S/C

Original: Cliente
Copia 1: Área Técnica
Copia 2: Producción
Copia 3: Laboratorio

TDM ASFALTOS S.A.C.
TEC. OMAR GODOY

Fecha de Emisión : Lima, 05 de febrero del 2019

La información contenida en este documento se basa en ensayos adecuados, seguros y correctos. Las recomendaciones, rendimientos y sugerencias no constituyen garantías ya que, al estar fuera de nuestro alcance controlar las condiciones de aplicación, no nos responsabilizamos por daños, perjuicios o pérdidas ocasionadas por el uso inadecuado de los productos.

TDM ASFALTOS se reserva el derecho de efectuar cambios con el objeto de adaptar este producto a las más modernas tecnologías.

Mz. A Lote 12 Zona Industrial Las Praderas de Lurín - Lurín. Teléfono (511) 6169311 Fax: 6169313

REG-III-TEC-23.VEG2013


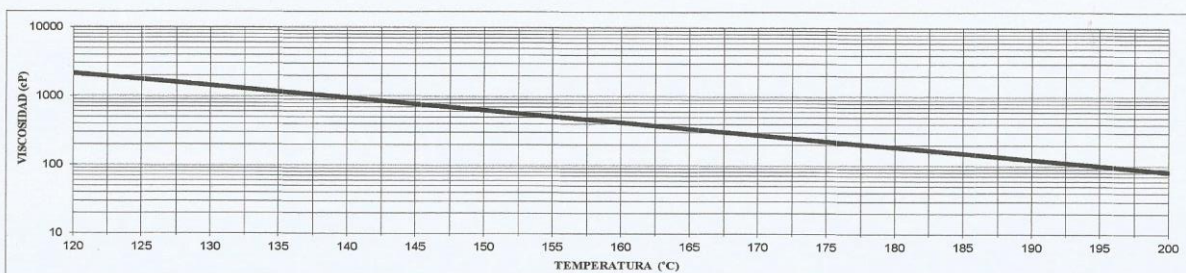

 Mza. A Lote 12 Zona Industrial Las Praderas de Lurín - Lurín
 Teléfono (511) 6169311 Fax: 6169313

GRÁFICO DE TEMPERATURAS DE MEZCLA Y COMPACTACIÓN

PRODUCTO: **BETUTEC IC**

INFORME DE ENSAYO N° S/C

FECHA: **05/02/2019**



28/09/2018

RANGO DE TEMPERATURA DE MEZCLA

RANGO DE TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN DE MEZCLA

161.2	A	168.3
151.4	A	161.2

RANGO DE TEMPERATURA DEL LIGANTE ASFÁLTICO EN LA MEZCLA CON VISCOSIDADES ENTRE 300 A 400 cP
 RANGO DE TEMPERATURA DE COMPACTACION DE LA MEZCLA CON VISCOSIDADES ENTRE 400 A 600 cP

Original: Cliente
 Copia 1: Area Técnica
 Copia 2: Produccion
 Copia 3: Laboratorio


TDM ASFALTOS S.A.C.

REG-III-TEC-23.VEG2013

Anexo n° 47. Rueda de Hamburgo PEN 60/70



EXPEDIENTE R.H. / LMA
052-2019-LAB TDM ASFALTOS

REPORTE DE ENSAYO DE RUEDA DE HAMBURGO PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE COMPACTADAS AASHTO T - 324

PROYECTO : TESIS : " ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MEZCLAS ASFÁLTICAS : MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLIMEROS SBS BETUTEC IC
MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL 60/70"
UBICACION : LIMA
SOLICITANTE : GERARDO VILLAFANA - MAURICIO RAMIREZ
REFERENCIA : PROPORCIONES DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CON ASFALTO CONVENCIONAL PEN 60/70 , ENVIADOS POR EL SOLICITANTE
FECHA : 13/02/2019

DETALLE DE LA MEZCLA

AGREGADO	: PIEDRA CHANCADA(45%) - ARENA CHANCADA(33%) ARENA ZARANDEADA (22%)	TIPO DE COMPACTACION	: COMPACTADOR GIRATORIO.
FILLER	: ---	PORCENTAJE DE VACIOS	: 6.8 %
ASFALTO	: PEN 60/70	CONTENIDO DE ASFALTO	: 5.4 %
DENSIDAD MÁXIMA TEÓRICA	: 2529 Kg/m3		

DATOS INICIALES DE LA PRUEBA

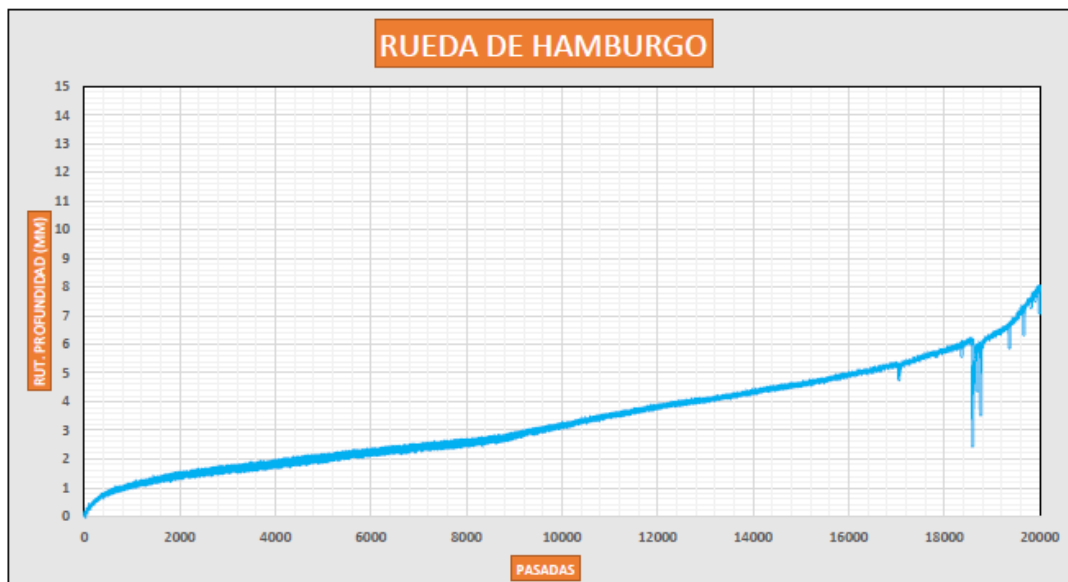
PRUEBA	: 52	TEMPERATURA DE ENSAYO	: 50 °C
TIPO DE MUESTRA	: Doble Núcleos	NÚMERO MAX. PASADAS	: 20000 pasadas
NOMBRE DE LA MUESTRA	: ---	PROFUNDIDAD MÁXIMA	: 12.5 mm
DIÁMETRO	: 150.0 mm	VELOCIDAD DE LA RUEDA	: 52 pasadas / min
ESPESOR	: 60.0 mm	OPERADOR	: GV

RESULTADOS FINALES

PROFUNDIDAD FINAL RUT.	: 7.77 mm		
TIPO DE MEDIO TÉRMICO	: AGUA		
FEEDBACK UTILIZADO	: EN EL TANQUE		
TEMPERATURA MÁXIMA	: 51.0 °C		
TEMPERATURA MÍNIMA	: 50.0 °C	PASADAS	: 20000

OBSERVACIONES

• ESTA PRUEBA FUE REALIZADA EN CONCORDANCIA CON LA NORMA AASHTO T-324.



Guillermo Vera B.
Guillermo Vera B.
Laboratorista

Wendy Herencia
Wendy Herencia
Jefe del Área Técnica

Fecha de reporte Lima, 20 de febrero del 2019

Anexo n° 48. Rueda de Hamburgo Betutec IC



EXPEDIENTE R.H. / LMA
053-2019-LAB TDM ASFALTOS

REPORTE DE ENSAYO DE RUEDA DE HAMBURGO PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE COMPACTADAS AASHTO T - 324

PROYECTO : TESIS : "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE DOS MEZCLAS ASFÁLTICAS : MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLIMEROS SBS BETUTEC IC
MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL 60/70"
UBICACION : LIMA
SOLICITANTE : GERARDO VILLAFANA - MAURICIO RAMIREZ
REFERENCIA : PROPORCIONES DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CON ASFALTO MODIFICADO BETUTEC IC , ENVIADOS POR EL SOLICITANTE
FECHA : 13/02/2019

DETALLE DE LA MEZCLA

AGREGADO	: PIEDRA CHANCADA(45%) - ARENA CHANCADA(33%) ARENA ZARANDEADA (22%)	TIPO DE COMPACTACIÓN	: COMPACTADOR GIRATORIO.
FILLER	: ---	PORCENTAJE DE VACÍOS	: 6.7 %
ASFALTO	: BETUTEC IC	CONTENIDO DE ASFALTO	: 5.3 %
DENSIDAD MÁXIMA TEÓRICA	: 2525 Kg/m3		

DATOS INICIALES DE LA PRUEBA

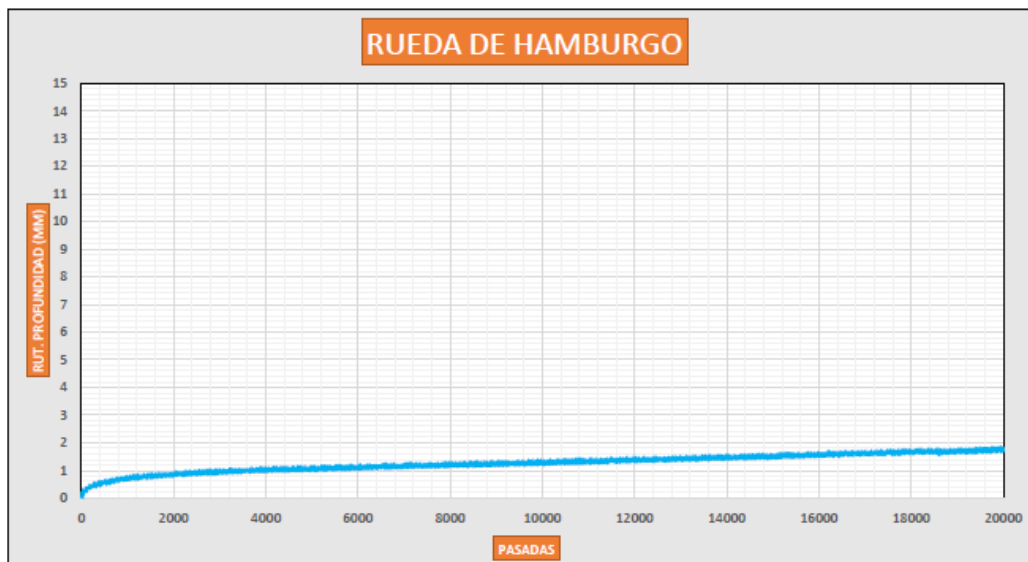
PRUEBA	: 53	TEMPERATURA DE ENSAYO	: 50 °C
TIPO DE MUESTRA	: Doble Núcleos	NÚMERO MAX. PASADAS	: 20000 pasadas
NOMBRE DE LA MUESTRA	: ---	PROFUNDIDAD MÁXIMA	: 12.5 mm
DIÁMETRO	: 150.0 mm	VELOCIDAD DE LA RUEDA	: 52 pasadas / min
ESPESOR	: 60.0 mm	OPERADOR	: GV

RESULTADOS FINALES

PROFUNDIDAD FINAL RUT.	: 1.80 mm		
TIPO DE MEDIO TÉRMICO	: AGUA		
FEEDBACK UTILIZADO	: EN EL TANQUE		
TEMPERATURA MÁXIMA	: 50.8 °C		
TEMPERATURA MÍNIMA	: 49.9 °C	PASADAS	: 20000

OBSERVACIONES

♦ ESTA PRUEBA FUE REALIZADA EN CONCORDANCIA CON LA NORMA AASHTO T-324.



Guillermo Vera B.
Guillermo Vera B.
Laboratorista

Wendy Herencia
Wendy Herencia
Jefe del Área Técnica

Fecha de reporte Lima, 20 de febrero del 2019